TURING 图灵新知

# 我心爱的雷龙

## 一本写给大人的恐龙书

［美］布赖恩·斯威特克◎著

邢立达 李锐媛◎译

My Beloved Brontosaurus

On the Road with Old Bones, New Science, and Our Favorite Dinosaurs



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

# 数字版权声明

## 布赖恩·斯威特克
（Brian Switek）

他从小就是个恐龙迷，现在仍未走出“恐龙期”，并设法把玩泥巴和做獠牙怪兽践踏远古泥浆的白日梦变成了正当职业。为此，他举家搬到了恐龙化石丰富的犹他州，并成为一名自由职业者，在撰写博客、专栏和图书之余，作为志愿者参与恐龙挖掘和研究活动。这是他的第二本书，他的第一部作品是《书之于石》（*Written in Stone*）。

**外封封面及背面海报：**
晚侏罗世中国四川自贡地区马门溪龙动物群生态复原场景（陈瑜 绘制）



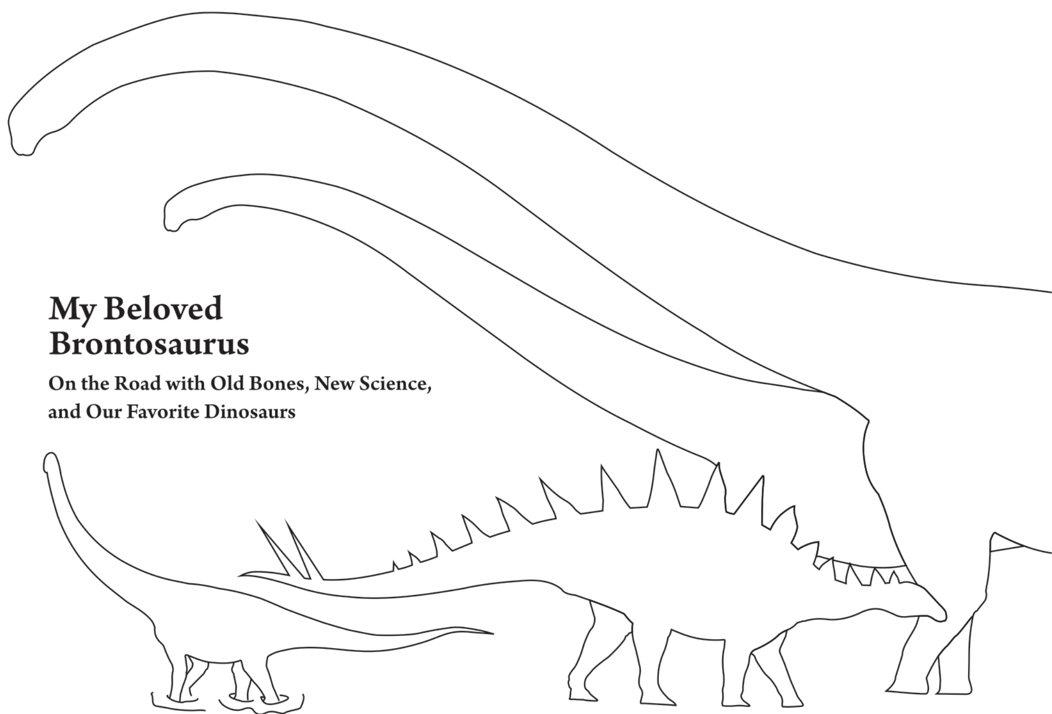
TURING 图灵新知

# 我心爱的雷龙

## 一本写给大人的恐龙书

［美］布赖恩·斯威特克 ◎著

邢立达 李锐媛 ◎译



**My Beloved Brontosaurus**

**On the Road with Old Bones, New Science, and Our Favorite Dinosaurs**

人民邮电出版社

北京

图书在版编目（ＣＩＰ）数据

我心爱的雷龙 ：一本写给大人的恐龙书 / （美）布赖恩·斯威特克（Brian Switek）著 ；邢立达 李锐媛译. -- 北京 ：人民邮电出版社，2016.9
（图灵新知）
ISBN 978-7-115-42976-6

Ⅰ. ①我… Ⅱ. ①布… ②邢… Ⅲ. ①恐龙－普及读物 Ⅳ. ①Q915.864-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第155515号

## 内 容 提 要

恐龙是许多人儿时的伙伴。但当我们长大后，带着孩子再次与恐龙相遇时，我们突然发现，现在的恐龙已经与记忆中的模样大相径庭。本书就将带领大家一览恐龙研究的最新进展，通过最新的发现和技术进步一窥恐龙生活的诸多奥秘，比如恐龙的性生活、恐龙的社会性、恐龙的羽毛、恐龙的病痛，以及最重要的，恐龙的崛起和灭亡。我们会发现，虽然恐龙的形象和自然史发生了诸多改变，但这些改变只是让我们曾经的朋友更加鲜活生动，更具魅力。

◆ 著　　　　[美] 布赖恩·斯威特克
　译　　　　邢立达　李锐媛
　责任编辑　楼伟珊
　责任印制　彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市丰台区成寿寺路11号
　邮编　100164　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
　网址　http://www.ptpress.com.cn
　北京　　　　　　印刷

◆ 开本：880×1230　1/32
　印张：6.875
　字数：172千字　　　　2016年 9 月第 1 版
　印数：1－4 000册　　　2016年 9 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号　图字：01-2013-9193号

定价：45.00元

**读者服务热线：(010)51095186转600　印装质量热线：(010)81055316**

**反盗版热线：(010)81055315**

**广告经营许可证：京东工商广字第 8052 号**

# 版 权 声 明

# 推荐序

《我心爱的雷龙》由近年来非常活跃的一位科普作家布赖恩·斯威特克撰写，这是一本集知识性、趣味性和消遣性为一体的好书。2013 年该书英文版发行时，我曾应邀在英国《自然》杂志上发表一篇书评，对该书进行了介绍和评论。现在，我非常欣喜地看到该书中文版的发行，相信这是给热爱古生物学和演化生物学的中文读者的一件难得礼物。在这里，我想与大家分享三年前发表的书评，介绍我对这本书的认识。

> 布赖恩·斯威特克是一位对演化理论有着很深理解的科普作家，他的作品常常能把演化知识、个人经历和思想以及古生物学研究过程中的趣闻轶事有机结合到一起，让读者能够轻松愉悦地享受阅读乐趣。
>
> 在书中，作者讲述了他在美国许多著名恐龙化石点、博物馆和高技术研究实验室的访问经历，以及与许多古生物学家进行的直接交流。通过近距离接触这些学者和他们推动的科学研究，斯威特克展现了我们对于恐龙演化的理解是如何逐渐推进的，甚至展现了恐龙古生物学在美国和许多其他国家是如何触及文化层面的。

斯威特克在书中谈到了许多主题，比如恐龙是如何成为中生代的陆地霸主，以及除了鸟类之外，其他恐龙为什么会在白垩纪末期灭绝。但他的重点是展现恐龙的生存之道。

斯威特克着眼于最新化石发现、最新研究方法，以及新技术的应用，以此来探讨恐龙如何交配和繁殖、如何生长发育和完成巨型化，以及探讨恐龙的社会性行为、某些恐龙遭受的疾病，甚至科学家是如何复原恐龙体表颜色和声音的。

书中的许多故事来自古生物学历史。“雷龙”是作者孩提时代最喜爱的恐龙。虽然从科学的角度，“雷龙”这一名字自1903年就不再有效（已被归入迷惑龙），但在公众当中，“雷龙”这个名字却一直广为使用，直到最近还没有完全退出公众视野。这一故事正展现了科学与流行文化之间复杂的关系。

此外，斯威特克在书中更多介绍了近期的有趣发现。比如，一位研究生如何在美国自然史博物馆的古老收藏中发现了一种称为奥氏灵鳄的爬行类新种，显示鳄类的祖先类型与许多恐龙一样是两足直立行走的。而在一次野外发掘过程，为了便于运输，人们不得不折断了一根君王暴龙的大腿骨，却意外发现里面蕴含着揭示这个个体性别的信息。又比如，一篇研究乌贼化石墨囊埋藏的论文催生了一种复原一些灭绝动物体表颜色的方法。

当然，任何出版物都避免不了缺陷，本书也不例外。作者有时会引用与某位科学家的对话来赋予自己对一个发现的叙述的权威性，却没有给出这个发现过程的一些具体细节，比如推论如何得出以及假说如何得到验证。此外，作者在通俗化定义一些动物类群时出现了一些偏差，并且个别时候，作者对整个科学故事背景的介绍稍有偏差。比如在强调奥氏

灵鳄重要性的时候，忽略了一个重要事实，即一些研究已经显示直立行走姿态广泛存在于鳄类支系的早期成员中。

由于本书主要依据作者在北美的旅行见闻，自然更多介绍来自北美的经典恐龙明星，所以对于其他地区的近期发现着墨有限，从而导致只能简单介绍，甚至忽略一些非常激动人心的新研究方向。

当然，即便是一部“雷龙”体量的书籍也不可能涵盖恐龙研究的方方面面。斯威特克以其真挚的热情，已经成功展现了近年来恐龙研究的重要发现和进展。

最后需要强调的是，本书中文版译者邢立达博士是近年来古生物科普领域最活跃者之一，对恐龙科普贡献颇多。他和李锐媛女士一起翻译的这本恐龙科普书一定会为读者带来一顿营养丰富的科普大餐。

徐星
（中科院古脊椎动物与古人类研究所
古生物学家）

# 目　　录

献给 Scicurious，

我的一位挚友，跟我一样满怀温情地

怀念着老家伙“雷霆蜥蜴”




本书作者还是恐龙小粉丝时的留影(虽然背景里的翼龙也是史前动物,但它并不是真正的恐龙)。(照片由芭芭拉·斯威特克提供)

序　章

# 我的恐龙人生

我也当过一回恐龙，准确来说，一只剑龙。我穿着一身让人不舒服的绿色紧身连体衣，背上还缝了几个软趴趴的布制骨板，这些都相当不科学。不过也算不上什么，我心怀恐龙之魂才是重点。

我就读的幼儿园打算在“恐龙之夜”来一场异特龙大战剑龙，本人当选主角之一。我又有了一个让爸爸妈妈必须同意我和恐龙尽情嬉戏的机会。老师把塑料小恐龙藏在浅浅的沙箱挖掘点里让孩子们发掘。活动结束时，每人还都拿到了一盒没滋没味的恐龙麦片。但要说有什么寓教于乐的内容，那我就没有半点印象了。那时候我根本不在乎这事。五岁的狂热史前粉和恐龙玩耍难道还需要理由？

我已经准备好在这场侏罗纪的死斗里冲异特龙小伙伴咆哮、跺脚、挥出尖刺之尾。就在这时，我发现那家伙穿着和我一模一样的戏服。我的对手本该是身手敏捷的超级食肉动物，长着捕兽夹一样的大嘴，和他现在的扮相没有半点相似之处。老师根本没好好做功课。我也不愿意像剧本里安排的那样倒在异特龙的利爪下。在剧本要求我倒在地上引颈就戮的时候，我决定要在迎来剧中死亡的那一刻挣脱这个角色，还试着让观众相信剑龙真的更加强大。我解释说，虽然异特龙攻势迅

猛，但这些伎俩在剑龙强大的骨板和有透骨之力的尾刺面前起不了什么作用。

哎，那群大人都不欣赏我的即兴恐龙学讲座。我还指望他们会明智地颔首赞许，再推荐我去纽约的自然史博物馆谋个职位呢。但他们只是哄堂大笑。

虽然心里觉得真正科学家应该挥起拳头大叫“蠢货！你们等着瞧!”，但我并没这么做。当然，我也没有放弃恐龙。纪录片培养着我的恐龙狂热，录像带店里弄来的 B 级恐龙片让我乐不可支。我还为了寻找完美的三角龙巢而把爷爷奶奶家后院翻了个底朝天。典型的三角龙其实从未踏足新泽西州中部,而发现于本州的恐龙化石也寥寥无几，大多都只是被冲进白垩纪时期大西洋的骨骼碎片，但这些事我根本不在意。化石猎手的直觉告诉我，表层土下面必有恐龙。于是我不断深挖，直到我从爷爷的工具棚里拿了一把短斧来对付挡道的树苗。爸爸妈妈从屋里冲出来阻止了我，发掘就此结束。很明显，我在开始挖掘时没有提交合适的发掘许可申请。

但我的父母用别的方式支持着我对化石的痴迷。他们鼓励我追求古生物学的梦想。小学的图书管理员向他们抱怨说我借走了太多恐龙书籍，那些书恐怕都超过了我的阅读水平。闻听此言之后，他们捍卫了我对图书的选择，这是我要一生珍藏的回忆。我的大脑渴求着一切有关恐龙的知识。每一个新学到的恐龙名字都成了一个科学的化身，一道能立刻在我的想象中召唤出骇人又妙不可言的鳞片怪兽的魔咒。

25 年后，我的妻子正在盐湖城的公寓里收拾着从我书桌上迅速蔓延开来的恐龙资料，它们已经侵入了我们的每一个房间。我的恐龙之梦促使我们搬到这个城市。人家会问究竟是什么让我选择了犹他州，摩门教传统让这里的政治保守得令人抓狂，啤酒却淡出个鸟。我的回

答很简单："为了恐龙。" 抱歉了，霍勒斯·格里利（Horace Greeley），我来犹他州的理由是："去西部吧，年轻人，去西部和恐龙一起成长。"在干旱的斑斓荒野之中，蜂窝州（犹他州别称）拥有几处恐龙化石储量位列世界前茅的地层。别的夫妇也许还在为买不买得起新沙发或电视而犹豫不决，我却会花好几个小时对太太软磨硬泡，好让她对财政大权松个口，同意我搬些必需品回家，比如拍卖会上真实比例的迷惑龙头骨铸模。（这个蜥脚类恐龙的石膏脑袋现正耀武扬威地坐在我放满古生物学战利品的书柜顶上。）

但只有天气情况允许的时候，我才能去搜寻更多恐龙。十月之后的气温太低，不能勘探，地面也太硬，没法安全地挖掘化石。为了打发时间，我一整个冬天都在敲打键盘，为新发现的化石撰写一篇又一篇的论文，一边焦躁地等待着春季。每个新的野外工作季都会带来新的可能。虽然美国西部一个多世纪以来的化石狩猎硕果累累，但这里依然还有许多不为人所知的恐龙在等待发掘。虽然一直都没找到三角龙的巢，但我现在搬到了距离梦想更近的地方。地球的历史就呈现在这片布满化石的美丽土地之上。

只不过，大家都认为恐龙不该在成年人的世界里占有一席之地。古生物学家和恐龙挖掘志愿者总是被人当作大孩子，这群家伙还设法把玩泥巴和做獠牙怪兽践踏远古泥浆的白日梦变成了正当职业。大家都知道美国的孩子们会经历一个"恐龙期"，但等我们尝到了集体运动和在高中露天看台下接吻的甜头，就到了该把恐龙抛诸脑后的时候（天生笨拙的我两样都做不来）。我们对治愈系音乐渐生爱意，面对约会两股颤颤，还要努力为了生活让梦想屈服妥协。童年喧嚣有朝一日会被此般种种所代替，被它们一扫而空。面对现实吧：我们的文化把恐龙归为媚俗的小孩子玩意——它们会引发怀旧情思和幽默讽刺，但不值得认真对待。

至少，直到曾经的恐龙粉丝带着自己的孩子去参观昂首于博物馆展厅里的真正怪物。这时他们突然发现，和他们一起成长的恐龙已经消失了，它们变成了陌生的造物，有时候甚至连名字都不同以往。我们儿时邂逅的恐龙不会停留太久——科学从没停止过改造重塑它们，让期待温馨记忆的我们遭到当头一棒。

我的前女友艾伦在 2003 年的元旦带我去美国自然史博物馆参观恐龙，那时我就体验了一回这种震撼。我只在还是孩子的时候去过那座大厅。在我没再踏足博物馆的那些年里，他们翻修了化石厅，使幼小的我备受鼓舞的骨架都以奇异的方式改头换面。

我第一次见到君王暴龙（又译为霸王龙）时，它像哥斯拉一样人立而起，高抬着尖牙密布的大嘴，尾巴拖曳于地。当时我还见到了剑龙，它就像一座骨板和尖刺的山丘。而低头弯腰的“雷龙”傻乎乎地站在那里，似乎身处干燥的陆地而不是杂草丛生的恶臭泥塘有点让它不适应。伴我成长的恐龙是一场潮湿而缓慢的噩梦，里面充满爪牙尖角。而现在它们都已经变成了我不熟悉的中生代生物：恐龙们都高高站立，凝固在某个动作之中，仿佛它们的血肉在闲庭信步时突然消失。新的恐龙骨架姿势灵动，对我来说是那么陌生。

恐龙的化石残骸（它们货真价实的骨头）依然如旧。每一具骨架都仿佛是一座静态的纪念碑，纪念着一个历史无法触及的时代。但自打我第一眼看到恐龙，古生物学家就在不断开发着越来越精细的技术，好从残骸上拾取史前生命的点点滴滴。蜥脚类恐龙的股骨或鸭嘴龙的头骨都不是只能拼装起来积灰的石块。每一块恐龙化石都包含着主人生命和演化的线索，有时甚至还有死亡的信息。对恐龙的探索不会止步于解开拼装骨骼的谜题——这只是古生物学重建的开始。

我们现在可以开始探究前人只能依靠推测解决的问题。从恐龙的性生活到最旷日持久的谜题之一，恐龙到底是什么颜色的，所有这些

都成为前沿研究的话题。我们知道得越多，就越觉得恐龙奇特又壮美。我最初所见的暴龙形象已经支离破碎，它摇身变为更加活跃和神奇的食肉动物——肌肉发达的顶级掠食者，脊柱和地面平行，新陈代谢极为旺盛，身上还长着细密的绒毛，揭示出这暴君和现生鸟类实为远亲的秘密。人们对剑龙和其他所有经典的恐龙都有了新的认识，也对它们进行了重建。它们不再屈居于史前河湾，而是和恐龙的自然史一样多姿多彩、生机盎然。

但新的发现需要一段时间才能呈现在公众面前。即便在那个时候，大家也往往无法明白我们为何能了解这么多的恐龙生物学知识。博物馆展厅和纪录片也许会展示古生物学的研究成果，把恐龙的各种知识都浮光掠影地介绍一番，但它们很少解释为什么恐龙会发生如此巨大的变化。这些秘密隐藏在普通恐龙爱好者无法接触的学术会议和技术资料里，就连格外关注恐龙的爱好者都难以跟上新发现的脚步。迅猛的变化让我们的理解力无力跟随，就连博物馆都至少有一部分新出炉的展品刚向公众开放便已过时。从估计的全长到鼻孔的位置，古生物学家始终在修改和争论着恐龙真正的模样。在各种研究中，人们一般以复原出的骨骼和生活方式作为决定性证据，但它们其实也只是假说，会随着期刊论文而遭遇变化和修正。说来也真奇怪，只有少数几门学科会时常发生公众质疑新发现的事情，古生物学就是其中之一。对过去的热爱让史前动物粉丝们嘲笑长羽毛的暴龙是巨大的鸡，还为分类错误杀死了他们曾经最爱的恐龙而哭天抢地。

在被夹在科学和大众情感之间的各种生物里，最让我难以割舍的是“雷龙”——这种标志性的恐龙曾因科学研究而横遭第二次灭绝。它真正的名字应该是迷惑龙，但广为流传又为人珍爱的却是它的旧名。“雷龙”是我们不该继续使用的非官方昵称，但我们对它实在难舍难分。

“雷龙”仿佛是一座有生命的肉山，是人们心目中恐龙的代表。

我满怀温情地怀念着它。是这长脖子巨龙让我第一次认识到了恐龙的壮丽。但我们甫一见面，它就消失于科学的虚无之中。“雷龙”在今天已经成了一段记忆。但我和很多人一样将它珍藏于心。“雷龙”让我们真真切切地看到了巨大有鳞生物的生活。听说这种恐龙不复存在的时候，比起技术错误，我更觉得这是一种背叛。

“雷龙”是本书的吉祥物。它最能代表古生物学家所研究的真实动物和这些巨兽在流行文化中的形象之间的冲突。这些史前生命的形象仿佛自已拥有生命，就像伶盗龙（又译为迅猛龙）一样紧抓住我们的想象。这也正是科学发现过程的危险和有趣之处。要了解恐龙，我们就得用玻璃纤维、钢铁、涂料以及电脑制造的模型对它们进行重建。但假说都在不断修改和完善。于是同一领域中新旧知识间的战争无可避免。科学发现引发了过去和现在的认知之间的激烈竞争。我钟爱的“雷龙”在这些经久不息的论战中成了最著名的牺牲品，但还不止于此。“雷龙”也是一座里程碑，彰显着科学使恐龙发生了何等深远的改变。我们也许失去了一种可爱的恐龙，但正是毁灭了这种巨龙的研究揭示了我们从不曾料到的史前生命的线索。让我们和“雷龙”结伴踏上旅程，一起追寻老朋友们的脚步，看看它们向我们揭示了哪些有关演化、灭绝和生存的秘密。

## 第一章

# 远古的巨龙

“雷龙”在我心中永远与众不同，对更年轻时的我来说尤其如此。这种住在沼泽里、走路慢吞吞的庞然大物代表了恐龙应有的一切——巨大、有鳞，最重要的是，它们那么古怪，只可能存在于原始时代。虽然已经灭绝了 1.5 亿年，但“雷龙”在我的想象中依然生机勃勃。当我还是个蹒跚学步的孩子时,我就一心想见见这种巨大的植食动物。在幼儿园的蜡笔涂鸦里，我给全家福里添了一只“雷龙”宠物，而且画得非常合理。我明白我们肯定养不起一只 24 米长的恐龙，所以我的小“雷龙”差不多和大丹犬一样大。它大得足以让我骑在背上，但也不至于吃穷爸爸妈妈。

用绘儿乐彩笔复活恐龙完全无法满足我的恐龙狂热。父母第一次开车带我和兄弟姐妹去迪士尼乐园时，我急不可耐地催促他们快去埃克森公司赞助的能量宇宙看诱人的电动“雷龙”、剑龙和各种恐龙。结果他们还来不及从车里拿出行李就把我们塞进了驶往恐龙世界的游览车。米奇和米妮算什么。嚎叫着、摇晃着身子的机器恐龙才是我最惦记的东西。虽然后来我为自己被困在了平凡又无聊透顶的新泽西州中部而懊恼，但这片郊区至少还有一个好处。对小恐龙粉丝来说，还有什么地方能比附近的美国自然史博物馆更棒？它就在河对面的纽约市

里。我在那里第一次见到了我的恐龙挚爱。

1988 年，爸爸妈妈带着小小的我参观了四楼的恐龙展厅，现在这个地方已经面目全非。白色的墙壁、高高的天花板和充足的照明让暴龙、埃德蒙顿龙、三角龙以及其他著名恐龙和周遭背景形成鲜明对比。上世纪 90 年代中期的翻修工程给这里带来了这种开阔轻快的气氛，这是为了让史前明星们跟上新发现的步伐。[1]翻修过的展厅按照演化顺序排列，印证着自恐龙于 19 世纪为博物学家发现以来经历了多少变化。美国自然史博物馆的恐龙姿态警觉，骨骼头颅和尾巴蓄势待发，仿佛是在为了寻找食物、朋友或敌人而扫视着已经消失的土地。

我二十出头的时候想什么时候去参观博物馆都行，于是我抓紧一切机会徜徉于骨骼之间，想象着它们生出血肉的模样。我在展厅里漫步，那里的地板已被一群群展开第一次恐龙发现之旅的孩子们踩出了磨痕。那时我最是思念多年前邂逅的侏罗纪恐龙展厅，它昏暗又尘灰满面。我在 80 年代看到的旧日恐龙都错得离谱，最后都成了被扔进科学垃圾堆的尴尬怪胎。但这并没有让我初遇它们的记忆黯然失色。那时候，我在展厅可怕的昏暗光线之中用想象力为骨头披上了生命的薄纱。比起死气沉沉的古生物学遗迹，那些骨骼更像等待着筋腱连接和有鳞兽皮披裹的骨骼支架。我那幼小心灵所看见的并非死去的恐龙，而是能再次迈步的骨骼架构。

*

第一次去美国自然史博物馆的时候，我整个人都沉浸在这个念头里，连爸爸妈妈也在那里都差点忘记了。我站在史前生物的骨骼之下，深深着迷。我根本没法把眼睛从博物馆的“雷龙”身上挪开。它低垂着脖子，上面连着傻乎乎的圆钝头骨，里面长满了汤匙一样的牙齿。我身处蜥脚类女皇的庭院之中，这些脖子修长、身躯沉重的恐龙是地球上有史以来最庞大的生物。毕竟正如教科书所说，硕大的体型赋予了它“雷

龙”这个意为“雷霆蜥蜴”的名字。它的行走之音必定让侏罗纪的大地滚过阵阵惊雷。我膜拜骨架的时候就想象着那种声响。它做出仿佛就要走下展台的姿态，它会屈身穿过出口，缓步走向中央公园西大道沿途的植物。在那一刻让人心潮起伏的静谧中，我敢发誓自己听到了恐龙呼吸的缥缈余音。这个挤满了史前骨骸的地方肯定存在着鬼魂。

当然了，暴龙和其他恐龙的骨架也令人印象深刻。但它们不像“雷龙”一样令我牵肠挂肚。我情不自禁地想着如果我一眼瞥见雷龙在门前的街道上漫步，去我邻居家的草坪上采食多汁的橡树叶，那会是一副怎样的情景啊。我在学校的美术课作业里画了慢吞吞的“雷龙”。我在车道的雨水沟里即兴创造了一个泥塘，让蜥脚类恐龙的塑料模型在舒舒服服地晒太阳。我还做着远方沼泽里依然有“雷龙”在晒日光浴的白日梦，它们正享受着逃脱灭绝的好时光。

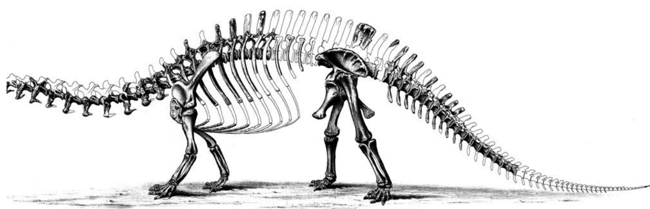
随后噩耗传来。

“雷龙”一开始就没这回事。我最爱的恐龙不是真的，它不过是误解催生的大杂烩，科学赋予了它生命，然后又将之夺走。这种恐龙真正的名字是迷惑龙，一种在古生物学家眼里和我的“雷龙”截然不同的恐龙。迷惑龙不是湿淋淋的海藻和睡莲采掘者。实际上，它们是整洁的动物，高举着脖子和鞭子似的长尾巴活跃在侏罗纪的泛滥平原之上。而我所知道的“雷龙”，那沐浴在侏罗纪沼泽里的笨拙巨兽，居然从没真正存在过。有关它的一切——生活方式、头骨和名字（这是最让人遗憾的部分）——都是人类从远古骨骼里臆想出来的东西，它们其实代表着别的恐龙。而我一直以来都被蒙在鼓里！我所见到的恐龙是博物馆中的石化僵尸。尽管科学家数十年前就了结了它的生命，但它依然徘徊不去。

恐龙的重大转变是一个既艰难又缓慢的过程。我初遇“雷龙”的

时候，它正在慢慢淡出书本和博物馆。就在我第一次参观博物馆的几年前，科学界对蜥脚类、剑龙类、暴龙类以及它们各路亲戚的兴趣日益高涨，这被戏剧性地称为“恐龙文艺复兴”。这场风潮打破了恐龙原本愚蠢可憎的爬行动物形象。重塑后的恐龙不再与蜥蜴或鳄类（指包含短吻鳄、鳄鱼和长吻鳄的种群）关系紧密，而与鸟类有了更多共同之处。化石骨骼始终如旧，但古生物学家在用新的眼光来看待这些石化的残骸。在“雷龙”这个个案里，关于它的名号、头颅形状和文化意义，科学和想象将发生碰撞。

这个故事开始于一个多世纪之前，那是古生物学发现最为硕果累累的一个时期。[2]1877 年，耶鲁古生物学家奥思尼尔·查尔斯·马什（Othniel Charles Marsh）将一副不完整的幼年蜥脚类恐龙骨架命名为埃阿斯迷惑龙。这副骨骼发现于科罗拉多州，发现者是他的野外作业助手亚瑟·拉克斯（Arthur Lakes）。两年后，马什的团队又在怀俄明州的科摩崖（Como Bluff）发现了一副更完整的骨架，他为这幅骨架创造了秀丽“雷龙”这个名称。



1896 年，马什在他的重要著作《北美恐龙》里发表了秀丽“雷龙”的重建图。（图片来自维基共享，http://en.wikipedia.org/wiki/File:Brontosaurus_skeleton_1880s.jpg）

这两种恐龙的差别很小，但在马什的年代，古生物学家会把骨骼上最细微的差别都看成提示未知种属的特征。毕竟马什和他当时的同行们是第一批为史前世界进行科学分类的人，那可是个充满了未知生物的失落世界。谁知道它们到底有多少种类呢？

这次，马什以为自己发现了两种不同属的恐龙，但事实并非如此。1903 年，古生物学家埃尔默·里格斯（Elmer Riggs）表示马什的“雷龙”和迷惑龙之间的差异不足以使它拥有一个新的属名。他有理有据地论述了“雷龙”只是迷惑龙的一个新种，而迷惑龙得名在先，因此拥有署名的优先权。于是秀丽“雷龙”变成了秀丽迷惑龙。问题是名称变更没能及时从科学期刊传达到普罗大众（或，显而易见地，博物馆的陈列）。出于不为人知的原因，美国自然史博物馆这类机构在展示迷惑龙骨架的时候还是贴上了“雷龙”的标签。也许是因为他们觉得这个名字更顺耳，又或者拿不准是不是该给最有名的展品更名。不管怎样，“雷龙”获得了第二次生命。

让我们暂且追随里格斯同时代那些顽固之徒的步伐，依然使用“雷龙”这个名称吧。从整体上看，博物馆甚是引以为豪的“雷龙”骨架其实和其他大型蜥脚类恐龙，比如梁龙，并无太大差别。这两种恐龙共同生活在 1.5 亿年前的北美洲西部，它们具有相同的身体构造，而“雷龙”只是比这位略修长的伙伴稍微魁梧一些。赋予“雷龙”个性、让它如此与众不同的是它的头骨。

当我在 1988 年看到“雷龙”骨架的时候，它顶在脖子上的那颗脑袋给人愚笨的感觉，正如 20 世纪初的科学家坚信的那样。美国自然史博物馆的古生物学家威廉·迪勒·马修就写道：“我们只能把雷龙看作行动缓慢的巨型动物机器……一个按序存放各种物质的庞大仓库，它主要或者完全依靠本能行动。就算智识能发挥一点作用，那也十分有限。”[3]似乎在这位监督组装了曾令我神魂颠倒的“雷龙”装架的老先

生看来，“雷龙”不过是演化史上的冷笑话，一个肌肉发达、头脑为零的大块头。

在第一次博物馆之旅中，我还不知道这只爬行类动物的头骨只是骨骼碎片和推测的产物。

马什的野外团队在科摩崖找到第一具“雷龙”化石时，他们很失望地发现标本没有头骨。（从死亡到被埋葬之间的这段时间里，蜥脚类恐龙很容易弄丢脑袋。）于是在让人绘制“雷龙”骨架的时候，马什参考了很多发现于另一个科摩崖采石场的头骨。这些骨头其实都属于另一种恐龙——短嘴高头骨的蜥脚类恐龙圆顶龙。它也生存于同一时期，但马什并不知道。他以为头颅和骨骼都属于同一种动物，于是就用那些碎片重制了“雷龙”的头颅。其他博物馆也有样学样。“雷龙”真正的头骨直到多年之后才被人发现。

“雷龙”的末日始于国家恐龙化石保护区（Dinosaur National Monument），那是有史以化石最多的恐龙墓地之一。当犹他州弗纳尔的 40 号国道旁边出现用来招揽游客的傻恐龙时，你就知道自己离公园不远了。你肯定能看到这些家伙。它们有的在咆哮，有的在旅馆外面搔首弄姿。我最喜欢看小镇的长脖子吉祥物戴娜，她穿着圆点比基尼，站在“来游泳啊！”的招牌上。恐龙没有乳腺，所以我也不太清楚比基尼文胸有什么好处，这大概只是犹他式的矜持。

弗纳尔的恐龙有一种欢乐的过时感。一座玻璃墙壁的博物馆于 1957 年矗立在了国家恐龙化石保护区的骨骸采掘场上。那之后爆发了一场旅游热，大部分恐龙都是这场狂热的产物。在这里进行保护性发掘是厄尔·道格拉斯（Earl Douglass）的梦想。[4]1909 年，他在这里的嶙峋山丘上发现了储量丰富的化石矿脉，并为匹兹堡的卡耐基自然史

博物馆进行了大规模挖掘。虽然他把成吨的骨骼运回了东部，但他希望能让广阔的骨床成为活生生的博物馆，游客能在这里近距离接触正在进行的古生物学研究。他的部分梦想未能实现，比如在化石点上修一条飞机跑道、为高级客户提供精致饮食，等等。但他愿景的核心已经成为现实，日复一日地对来访者表明史前世界可以仿佛一个异世界。

驶过衰败的岩石商店、另外几个破烂褪色的恐龙以及格林河和杨帕河河岸上错落的翠绿农田，你总算达到了目的地。停车场里有一只傻乎乎的梁龙对就在公园大门外的游客露出羞怯的微笑。一条蜿蜒的道路会带你走向刚翻修过的博物馆。如果你了解地质学，那这就是一场货真价实的时间旅行。数十亿年来的沉积、抬升和侵蚀让地球在纵向上形成了一系列分界清晰的薄层，每一层都比上一层更古老。残存的远古海洋演变成覆满蕨类植物的泛滥平原，而它和曾遍布沙丘的沙漠残迹又被另一片已经消失的海洋所分隔。时间长河里不断发生着这些改变。即使你不太精通古生物学，你也可以根据颜色的变化来区分出地层。从薄荷绿到锈红，每一个地层都以自己独有的色调，与其他地层相区别。我做梦也想不出还有什么景色能壮丽如斯。这里可以跻身地球上最美之处的行列。

通往采石场岩壁的道路由点缀着栗色碎片的灰紫色石堆修成。这是典型的莫里逊组（Morrison Formation）色样。这些历史粗算来有 1.5 亿年的沉积层见证了恐龙巨兽的存在。那个时代属于剑龙、异特龙、梁龙、腕龙、角鼻龙和其他受人喜爱的恐龙，当然也包括曾经被称为“雷龙”的生物。如果没有深厚的恐龙解剖学造诣，要从受保护的采石场岩壁里分辨出每一个物种可不是件容易的事。暴露的岩面里拥塞着各种在中生代遭遇不幸的恐龙。许多种恐龙死于侏罗纪的干旱。当雨季终于打破干旱诅咒时，这些可怜恐龙的尸体就都被冲到了这个地方。在棕色骨骼的泥潭里，失去身体的残肢断尾和骨骼残片都混在一处。

恐龙的不幸却让道格拉斯和后来的其他古生物学家迎来了大丰收。

一个世纪前的采石场规模更大。倾斜的骨床还向上方和两边各延伸了 30 米。这些地方早已被挖开，化石都送到了博物馆。虽然大部分化石都七零八落，但道格拉斯还是发现了几具完整的骨架。1909 年 9 月，就在偶然发现让他注意到这个地方的恐龙脊柱之后不久，道格拉斯又兴奋地挖到了可能是完整“雷龙”骨架的化石。[5]“很明显，我们找到了这种大型恐龙有史以来最完整的化石。至少我不知道其他人有发现过这么完整的骨架。”道格拉斯在给卡内基自然史博物馆工作人员的回信里这么写道。骨架的脖子上甚至还可能连着“雷龙”遗失已久的头颅。“虽然不敢肯定，”道格拉斯透漏说，“但我相信我们能找到头骨。”

恐龙尸体的弧度为道格拉斯指明了道路。又对这具骨骼挖掘了两个月后，他发现脖子朝后弯曲到了剩下的脊柱上面——这是恐龙典型的死亡姿态。如果头骨也在，那它肯定在弯曲脖子的末端。道格拉斯和他的团队“心跳不已”地仔细挖出了剩下的脖子。后来他对老板威廉·霍兰（William Holland）回忆道：“我当时非常肯定头骨就近在眼前，毕竟八块颈椎都在自然状态下完好无损地保存了下来。”但脖子到第三或第四颈椎就戛然而止了。“太失望了，真让人难受。”道格拉斯叹息不已。

但道格拉斯依然在接下来的日子里继续着这项工作。他甚至在斑驳的裸露岩层上修建了长期驻地，在本该停止田野作业的酷暑寒冬奋力挖掘。虽然从没找到“雷龙”脖子上的头骨，他还是发现了几个大型长颈蜥脚类恐龙孤零零的头颅。其中大部分都形似梁龙。不同于圆顶龙长着汤匙状牙齿的圆钝形状头骨，梁龙的头骨长且浅，带有长着铅笔状牙齿的方嘴。

但道格拉斯不是非常肯定这些头骨都属于梁龙。也许他搜集的头骨里确实有来自“雷龙”的那几颗——那时候它还是一只无头恐龙。

“我们真的能确定所谓的梁龙头骨不是雷龙的吗？”他思忖着。尤其是在 1910 年的时候，他在非常靠近第二具“雷龙”标本（它只有一个简单的编号 40）的地方发现了一个神秘头骨。他认为这个石化的头颅属于梁龙，在梁龙死亡后才滚到了别处，“虽然如果有人能说服我改变想法的话，我也会他戴上荣耀的冠冕”。当时他还是不太敢铤而走险，声称自己最终找到了“雷龙”的头骨。

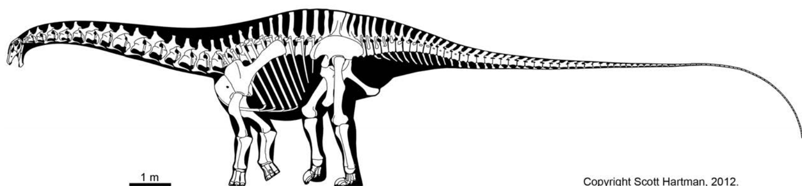
威廉·霍兰却不认为道格拉斯找到的是又一个梁龙头骨。他相信自己的手下真的在侏罗纪地层中找到了遗失多年的“雷龙”脑袋。那个头骨和梁龙的十分相似，所以毫不奇怪道格拉斯的审慎会让他误入歧途，但“雷龙”的头骨稍微宽大一些，正与它更庞大的身躯相匹配。他认为，马什靠些许化石碎片确立的“雷龙”头骨形态大错特错，而道格拉斯在 40 号恐龙附近发现的粗壮头骨才真正属于“使人迷惑的蜥蜴”，也就是迷惑龙。

科学的不确定性和古生物学圈子里的政治让迷惑龙遗骸的问题越来越复杂。虽然声称道格拉斯发现了迷惑龙的头骨，但霍兰还是决定不给博物馆里的恐龙骨骼装上脑袋，无头恐龙就这么展示了 20 年。直到 1934 年，即霍兰去世两年后，卡内基自然史博物馆的迷惑龙才有了脑袋，那是个类似圆顶龙头骨的替代品。似乎没人知道是谁做的这个决定，但这个选择反映了那个时代的共识，即迷惑龙是圆顶龙的近亲，这也是马什的观点。既然可能存在亲缘关系，那这两种恐龙的头骨应该也很相似。卡内基的迷惑龙和它在耶鲁以及美国自然史博物馆的伙伴们多年来都在用别人的脑袋对参观者露出微笑。而道格拉斯在 40 号骨架旁边找到的特殊头骨被藏入卡内基自然史博物馆，贴上了梁龙的标签。

最终，道格拉斯的最初预感和霍兰的断言被证明是对的。1975 年，约翰·麦金托什，一位由物理学家转行、自学成才的蜥脚类恐龙专家，

回顾了道格拉斯的各种信件、笔记和采石场地图，并据此确定了道格拉斯发现的奇怪“梁龙”头骨其实正位于一具迷惑龙骨架上。[6]在概括这块化石独特解剖结构的论文里，麦金托什描述了这具头颅，为迷惑龙补上了必不可少的最后一环。1979 年 10 月 20 日，卡内基自然史博物馆正式用重新发现的头骨的铸模为迷惑龙换下了错误替代品。其他博物馆又过了一段时间才修正了自己的藏品。耶鲁的皮博迪博物馆在 1981 年更换了头骨［古生物学家约翰·奥斯特罗姆（John Ostrom）在给骨架换新头骨时便打趣道，“这是我第一次做头部移植手术”］。[7]而纽约的美国自然史博物馆在上世纪 90 年代中期的翻修中才修改了骨架。

古生物学家在更换头骨的时候当然已经知道迷惑龙才是正确的名字。里格斯在 1903 年就给这个问题下了定论，各种论文也巩固了这个结论的学术地位。但就算里格斯把这个问题说得一清二楚，“雷龙”这个名字依然流传。不可否认，君王暴龙可能是现在最受人喜爱的恐龙，但“雷龙”主宰着早年的电影，也给文化生活留下了极大的影响。最早一批恐龙动画电影之一《恐龙葛蒂》，便以美国自然史博物馆里的“雷龙”为原型塑造了一只活泼的恐龙。在 1925 年的《失落的世界》和 1933 年的经典之作《金刚》里，还有更多“雷龙”大怪物与人类为敌（更不用说在 1938 年《育婴奇谭》里，加里·格兰特为雷龙“肋间锁




我们今天所知的秀丽迷惑龙。（斯科特·哈特曼绘）

骨”所付出的那场徒劳搜寻——其实这种骨头并不存在）。它那种笨拙而有时又狂暴的个性就浓缩在了那个虚假的头骨中。而当真正的头骨被放回迷惑龙的躯体上时（那时也正值古生物学家在重新审视何为恐龙的本质），它的个性也发生了彻底改变。

现在，我们都知道迷惑龙才是正确的名字。如果你在年轻的恐龙爱好者面前提起错误的名字，他们马上就会纠正你。但你无法让一只“雷龙”低头隐身。大家都知道“雷龙”这个名字而且想要它存在下去。因为这样的人气，我有几个古生物学家朋友想把一种新发现的蜥脚类恐龙命名为雷脚龙（*Brontomerus*），意思是“雷鸣之腿”。[8]但再没有别的恐龙能填补“雷龙”留下的文化空白。这倒是很有趣，因为史前时代可没有“雷龙”留下的空白。不妨看看谷歌上的词频统计（用来跟踪一段时间里书籍中词汇使用的服务）。[9]“迷惑龙”和“雷龙”这两个词出现的年代相差不远，但词频统计显示“雷龙”的使用率总是更胜一筹。即使在大家已经知道了“雷龙”并不存在的 20 世纪 70 年代，它的出现频率依然高于迷惑龙。提到迷惑龙的时候，我们总是有强迫症似的要提醒大家这种恐龙以前叫作“雷龙”，于是这个被废弃的名字一直屹立不倒。（这个毛病在我身上特别严重。）说起迷惑龙的时候，“雷龙”的记忆必然如影随形。

这段苦情故事让我想起了冥王星从行星降级成矮行星时发生的事情。那颗星球依然存在，科学家没有用死星或者其他星际武器把它摧毁，但抗议的声音非常激烈。就连不少铁杆科学爱好者都反对这个技术上的决定。为什么一个普通的变更会如此牵动人心？一位帮助促成冥王星降级的天文学家，麦克·布朗曾给出过这样的解释：

> [冥王星降级] 之后，很多人都来信说他们为此而伤感。我明白这种感觉。冥王星是他们心理认知的一部分，大家都

> 是在这种认知的基础上来了解太阳系和自己在其中所处的位置。冥王星似乎是存在的最外缘。把冥王星赶出这个认知体系会让人觉得出现了难以想象的空洞。[10]

这种侏罗纪植食动物曾是一块试金石，得以让其他主龙类生物各安其位，并帮助我们在想象中复兴失落的世界。而现在，该蜥脚类恐龙的幽灵仍是一个文化基准，在不断变化的恐龙图景之中岿然不动。在我看来，与其说我们失去了一种恐龙，还不如说我们对一种真正的侏罗纪巨兽有了更清晰的认识。旧的“雷龙”和我们现在所了解的恐龙之间的差异，恰恰表明了我们在恐龙生物学方面取得了多少进步。

要了解我们对恐龙的认知发生了哪些变化，那我们就得弄清楚恐龙到底是什么。这个问题可不像听上去那么简单。先说说恐龙不是什么：它们可不仅仅是龇牙咧嘴的巨大史前动物。长毛猛犸象就不是恐龙，翼龙这种长着皮革翅膀的飞翔爬行动物不是恐龙，追逐鱼群的水生爬行动物（比如鱼龙和蛇颈龙）也不是恐龙。你也不能因为一种动物的名字以“龙”结尾就将它看作恐龙。“恐龙”是一个科学术语，而不是通俗用词，它只能用于特定的动物群体。

最简单的判断方法是：从恐龙谱系中的每一个分支里都挑出两个位于演化末端的成员，然后把它们和最后的共同祖先联系起来。也就是说，如果你选了三角龙和鸽子（鸟类也是恐龙），然后找到它们最后的共同祖先，那么由此产生的演化树中包含的所有动物都是恐龙，它们都存在共同的解剖学特点。而没有被囊括在这个范围内的动物就不是恐龙。这种界定恐龙的办法有些奇怪，但它的依据存在于演化关系之中。

让我们再稍微深入一些。我们之所以选择三角龙和鸽子来概括恐龙的谱系，是因为它们代表了两种主要恐龙亚群演化末端的动物。维

多利亚时代的解剖学家哈里・戈维尔・西利（Harry Govier Seeley）在1887年主要依据恐龙的腰带骨描述了恐龙品种。[11]一些恐龙（如异特龙和迷惑龙）的腰带略似蜥蜴，而其他恐龙（如剑龙）则具有在西利看来与鸟类相似的腰带。于是他把这两种恐龙分别称为蜥臀类和鸟臀类（不过后者后来变得有些讽刺——虽然鸟类也是恐龙，但所谓的鸟臀类恐龙跟鸟类祖先没有太大关系）。

虽然鸟臀类和蜥臀类比较拗口，但它们是区别恐龙的关键特征。所有已知的恐龙都可以归入这两类中的一种。奇特的恐龙形态多得惊人。在鸟臀类中，有圆顶头的，比如肿头龙；有铲状喙的，比如有顶饰的副栉龙；以及有装甲的，比如甲龙和五角龙——后者是具有弯曲额角和绚丽长顶饰的巨大四足恐龙。据目前所知，这些恐龙的主食都是植物。

而蜥臀类囊括了部分最巨大、最凶猛、最魅力非凡的恐龙。其中两大主要亚群是兽脚类和蜥脚类。蜥脚类是长脖子的植食性恐龙，包括迷惑龙和它们的近亲。在很长一段时间里，兽脚类是“肉食恐龙”的同义词，但这个观点已经遭到摒弃。暴龙、异特龙和南方巨兽龙都是掠食血肉的兽脚类，伶盗龙和它们的亲属亦是如此。但很多兽脚类族系都成为了杂食动物或植食动物，包括鸟类。虽然肉食动物向来抢尽风头，但最奇异的兽脚类是最近发现的族群，比如阿瓦拉慈龙类以及镰刀龙类。人们认为阿瓦拉慈龙类这种火鸡大小的恐龙是中生代的食蚁兽，而镰刀龙类是大腹便便、长着羽毛的植食性恐龙，它们的爪子长得不可思议。

对于恐龙体型的差异到底有多大这个问题，我们的认识在不断改变。“恐龙”这个词严格来说涵盖了从帝企鹅到三十多米的超龙、头颅巨大的“碎骨者”（如暴龙）以及长有尖刺的装甲奇兽（如剑龙）之间的所有东西。我们可能甚至尚不完全了解恐龙的体型。就在过去的30

年里，古生物学家辨识出了许多前所未闻的恐龙，比如吃蚂蚁的阿瓦拉慈龙类和诡异得不得了的镰刀龙类。同时他们也发现了阿贝力龙类，这是头骨短且深的兽脚类恐龙，连暴龙都要嘲笑它们的前肢百无一用。此外还有棘龙类，它们是嘴似鳄鱼的帆背肉食性动物。

约 6600 万年前的大灭绝终结了白垩纪，从那场灾难里生存下来的恐龙更加重要。恐龙并非全是史前动物——我们现在知道鸟类是唯一幸存下来的恐龙血脉。实际上，鸟类就是恐龙。但大多数恐龙，也就是一听到“恐龙”便会出现在你脑海里的那些，被我们称为非鸟恐龙（non-avian dinosaurs）。许多作者和古生物学家喜欢把“非鸟恐龙”和旧式的“恐龙”当作同义词，免得为繁琐的术语所累。但我认为现在是时候妥协了。没错，使用起来可能有些不方便，但如果我们漠视恐龙依然存在这个事实的话，那就是对恐龙的侮辱。

但对大部分人来说，“恐龙”已经灭绝。而最近的发现，比如棘龙类和阿瓦拉慈龙类，让我们明白还有无数未知等待着发掘。很多发现都来自南美洲、非洲和亚洲的化石点，这都是早期化石猎手无法到达的地方。但就连系统发掘历史最长的北美和欧洲大陆也都产出了闻所未闻的奇特恐龙。

所有化石都来自一段独特的史前时期。恐龙在中生代称霸地球 1.6 亿余年。更具体说，恐龙的全盛时期跨越了三个地质年代——三叠纪、侏罗纪和白垩纪。这段漫长的时间足够演化出各式各样的恐龙。部分恐龙的栖息地可能缺乏形成化石的条件，所以我们可能永远无法知晓所有的恐龙种类。但即便如此，肯定也还有数千种未知的恐龙在等着我们去发现。

恐龙不仅仅是史前生物、真正的怪兽，或甚至科学研究的对象，它们还是人们的符号和文化明星。正如记者约翰·诺贝尔·威尔福德在《恐龙之谜》里所写的：“和其他化石相比，恐龙更称得上是大众的

财富。它们既是公众想象的造物，也是科学复原的成果。”[12]它们入侵了我们的音乐、电影、广告和俗语（不过我认为“going the way of the dinosaur”的意思应该是变得精彩绝伦才对，而不是不可避免地走向灭绝）。NASA 甚至两度把恐龙送入太空。[13]别问我出于什么原因，他们就是把恐龙化石发射进了宇宙——可能是因为恐龙让我们如此神魂颠倒，所以我们要把至高无上的荣誉授予最心爱的怪兽，让它们的遗骨在冲破大气层之旅中占有宝贵的一席之地。

恐龙无处不在，所以经历“恐龙期”成美国文化中常见甚至是习以为常的一部分。恐龙对孩子来说具有一种直接又难以逃脱的魅力。有好些年轻的恐龙爱好者凭着这股热情成为了古生物学家。我还没听过能合理解释这种现象的理由。通俗心理学给出的一种解释是：恐龙之所以流行，是因为它们巨大而凶猛，但已经灭绝的事实又让它们毫无威胁。不过我并不吃这一套说法。恐龙并不是因为我们能对它们招之即来挥之即去才具有魅力。是别的什么在吸引我们，某种深植于我们对自己在世界历史中所处位置的好奇心中的东西。

实际上，早在获得这个名字之前，恐龙就不禁让古人猜测历史的种种以及我们在其中的位置。从古希腊人到美洲土著，古代文化和原



1.5 亿年前，侏罗纪时代犹他州的生物一览。这里曾是迷惑龙的栖息地——这种巨大的蜥脚类动物遍布中部的泛滥平原。（罗伯特 · 沃尔特斯和泰斯 · 基辛格绘，由犹他州国家恐龙化石保护区提供）

住民都流传着关于远古怪兽和强大英雄的传说，以好解释那些露出地壳的奇特动物骨骼碎片。[14]英国第一批描述恐龙的博物学家把恐龙看作可怕的利齿蜥蜴，身怀无尽的破坏力。它们恐怖怪异的骨骸让人立刻认定它们是早已消失的原始怪兽。恐龙的古怪骇人正是它们最为诱人之处。我们情不自禁地想象它们究竟是什么，正如从一开始，丁尼生便将它们描述为“远古的巨龙，在泥沼中相互撕咬”。

恐龙的这些形象很容易植根于我们的脑海，挥之不去，哪怕科学家始终在不断修改着我们对它们的认知。

我们的认知始于发现恐龙本身。没有骨骼的话，我们根本无从重建它们的真身和生命的细节。

2011 年，站在露台上俯瞰道格拉斯当年的采石场，我就想起了这一不可否认的事实，以及恐龙发掘的浪漫。这片地方现在已经被清理干净，巨大墓地的种种细节都呈现在了大家眼前。这是国家恐龙化石保护区的核心，拥挤的墓地正是我们努力尝试重构恐龙的生物学的起始点。无数个小时的工作才给我们带来了这幅景象。专家花了许多年时间敲掉岩面，让骨头袒露在参观者面前。

现在发掘工作已经停止。人们差不多已经发现了这里的几乎每一块化石。我有点失望，不能亲眼目睹化石发掘者们的辛勤工作（或亲手小心翼翼地凿下几块骨头）。发现并挖掘恐龙是繁重而艰辛的工作，不时穿插着短暂的激动。在采石场、实验室或野外寻找尚未发掘的恐龙化石时，发现过程对我来说是非常愉悦的经历——一看到新鲜出土的骨骼或碎片，我就不禁要开始思考这是哪种恐龙，这块骨头属于哪个部位。20 世纪最伟大的古生物学家之一，乔治·盖洛德·辛普森曾这样写道：

> 狩猎化石是最具魅力的运动。我是这么认为的，不过我觉得真正的运动员在尝试过骨骼挖掘之后不可能不同意我的观点。这项工作有危险之处，危险到让它更具风情……危险只针对猎人存在。它有着赌博的不确定感、兴奋和刺激，但毫无赌博的害处。猎人绝对不可能知道自己会收获什么，也许什么都没有，也许是人类前所未见的生物。下一个山头可能就埋藏着伟大的发现！……化石猎人不会夺走生命，反而赋予死物新生。这项运动的成果会为人类带来欢愉，为知识的宝库增光添彩。[15]

正是这种精神激励道格拉斯为发掘伟大的侏罗纪骨床奋斗一生。而这种浪漫也在各个机构之间掀起了“我的恐龙比你们的大”竞赛，于是匹兹堡、芝加哥和纽约竞相在精致的展厅里展示出迷惑龙（旧称“雷龙”）宏大的重建骨骼。[16]和世界上其他的化石展览一样，这些奇妙的展厅都是石化战利品的陈列室，炫耀着不毛之地上的艰辛工作是怎样帮助我们认识史前历史以及我们在自然中的位置。精心组装起来的骨骼讲述了人类记忆不及的过去，那是久远到超出我们理解能力的时代。这些一动不动的骨骼为我们的存在提供了更广阔的背景。（试想一下：生活在距今 6600 万年前的暴龙在时间上距离我们要比距离迷惑龙更近，迷惑龙的时代比它们的还要早 8400 万年。）确实，尽管道格拉斯的恐龙让他的采石场名扬四海，并最终让这成为博物馆，但小型哺乳动物的牙齿和骨骼在恐龙遗骨中却仿佛沧海一粟。我们的祖先和表亲抽着鼻子穿过侏罗纪的灌木丛，隐藏在那个世界的阴影之中。它们对看似不可战胜的恐龙时代竟会终结一事毫无头绪。

虽然野外作业非常有趣，但古生物学的工作绝不只是狩猎战利品。

找到恐龙不过是工作的开始。化石猎人有个小秘密，如果你找到了合适的地层，并能从岩石里分辨出骨头，那么找到恐龙并没有那么困难。这事科学和运气几乎各占一半。而在亲手找到一些化石之后，我发现挖掘恐龙骨头跟电视上演的不太一样。在伴我成长的无数恐龙纪录片里，古生物学家时常为自己第一个看到新鲜出土的、6600万年前甚至更古老的化石而兴奋不已。显然他们只是为发现化石本身而欣喜若狂。

但我在新墨西哥州的幽灵农场里仔细清理着恐龙股骨上的沉积物，在蒙大拿州伊卡拉卡的牧场地上捡起一把恐龙牙齿，或甚至在凝望着国家恐龙化石保护区那美丽的侏罗纪墓地时，我心中都没有此般想法。恐龙化石是远古生命的遗迹。单单一根骨头也能引发许多问题——这只恐龙是怎么行动的？它的皮肤或羽毛是什么颜色？它吃什么过活？它是怎么死去的？它在地球的生命体系中占有什么位置？这些问题还不过只是开始。古生物学的激动人心之处就在于此。没错，恐龙十分古老，而且还奇特得让人难以置信。这样的生物如何演化而来，又何以能兴盛这么久，正是这些悬而未决的问题驱使着我和其他恐龙爱好者们不断挖掘着它们的历史。这不仅是枯燥的学术研究，也是我的心之所向。如果能解开它们成功演化的秘密，那或许我就能理解它们为什么有着无穷的魅力。

我小时候提出的很多恐龙问题都被认为不可能得到答案。但慢慢地，也令人惊奇地，我们开始得以了解恐龙真正的模样。古生物学家正在为恐龙描绘比以往任何时候都更接近真相的形象。四处寻找珍贵的骨架而又让它们在博物馆架子上积灰的日子已经是历史了。现在许多密集研究的基础都是骨骼，我们通过探测、扫描、解剖化石来寻找一切线索，以便了解这些已灭绝猛兽的生活方式。恐龙文艺复兴彻底颠覆了我们对恐龙的想象。就像马里兰大学的古生物学家托马斯·霍

尔茨（Thomas Holtz）有一次对我说的，这是一场新的恐龙启蒙运动，它正在向我们展现恐龙生活的细节。

科学不仅仅是不断记下事实然后又把它们遗忘在故纸堆里。事实和理论相互交织，让我们对自然的认知不断改变。我们对恐龙的了解越多，它们就变得越发陌生，有关它们的生物学的疑问也不断增加。恐龙的谜题包含在两个互补的主题中——它们是怎么生活的？以及为什么大部分恐龙都灭绝了？要解开这些难题，我们就得先解决一系列其他谜题——它们是怎么交配的？是怎么成长的？是怎么通过声音、气味和双眼进行交流的？

在所有这些当中，恐龙怎样取得统治世界的地位是最旷日持久的谜题之一。道格拉斯的采石场保存下了巨龙的全盛时期——那时候各种庞大的神奇植食恐龙在遍布蕨类植物的泛滥平原上弯弓着优雅的长脖子，想要躲开和它们一样种类繁多还长着匕首状牙齿的大型掠食者。至少对我来说，恐龙的统治在侏罗纪这段时期达到了顶峰。这就是经典的侏罗纪。画面如此宏伟，生动的景象之中还隐藏着线索，可以让我们追溯谜题的源头。迷惑龙和它各路表亲来自何方？恐龙到底是怎么耀武扬威地统治了世界？我得去别处寻找答案，第一站是保护区里几块裸露的岩石。

沿国家恐龙化石保护区的主干道走几英里之后会出现一个小小的岔路口，通向寂静之声远足径——在我穿过低矮灌木丛和被风和水蚀刻出美丽形状的裸露砂岩时，西蒙和加芬克尔的歌声几乎在我脑子里无限循环。在这小径上一处有些弯曲的地方，有一条深深的、稍微露出地面的锈红色岩石条带，当地人把这条长长的曲线称为“赛道”。这片剖面的历史有 2.2 亿年，除了波痕和古蠕虫所穿的孔洞，上面还有修长恐龙的足迹——它们是恐龙家族的早期成员，那时恐龙王朝尚未

成形。恐龙留给我们的只有岸边淤泥里的足迹。这些袒露秘密的足迹是远古生态系统里无足轻重的生物留下的珍惜印记。要了解恐龙的生活，我们必须得研究三叠纪的岩石——当时距离迷惑龙和其他恐龙为霸权而跺脚嘶吼还有数千万年的时光。如果我们要真正理解恐龙的本质，那我们就要回顾它们卑微的起源。

## 注释


[1] Lowell Dingus, *Next of Kin: Great Fossils at the American Museum of Natural History* (New York: Rizzoli, 1996).

[2] Keith M. Parsons, *Drawing Out Leviathan: Dinosaurs and the Science Wars* (Bloomington: Indiana University Press, 2001), 1–21.

[3] William Diller Matthew, "The Mounted Skeleton of Brontosaurus," *American Museum Journal* 5, no. 2 (1905): 63–70.

[4] Brian Switek, "America's Monumental Dinosaur Site," Smithsonian.com, May 31, 2012, www.smithsonianmag.com/science-nature/Americas-Monumental-Dinosaur-Site.html.

[5] Parsons, *Drawing Out Leviathan*, 1–21.

[6] John S. McIntosh and David S. Berman, "Description of the Palate and Lower Jaw of the Sauropod Dinosaur *Diplodocus* (Reptilia: Saurischia) with Remarks on the Nature of the Skull of *Apatosaurus*," *Journal of Paleontology* 49, no. 1 (1975): 187–199.

[7] "Yale Brontosaurus Gets Head On Right at Last," *New York Times*, October 26, 1981, www.nytimes.com/1981/10/26/nyregion/yale-brontosaurus-gets-head-on-right-at-last.html.

[8] Michael P. Taylor, Mathew J. Wedel, and Richard L. Cifelli, "A New Sauropod Dinosaur from the Lower Cretaceous Cedar Mountain Formation, Utah, USA," *Acta Palaeontologica Polonica* 56, no. 1 (2011): 75–98, doi: dx.doi.org/10.4202/app.2010.0073.

[9] Google Ngram Viewer, accessed July 13, 2012, books.google.com/ngrams/

graph?content=Brontosaurus%2C+Apatosaurus&year_start=1800&year_end=2012&corpus=0&smoothing=3.

[10] Mike Brown, *How I Killed Pluto and Why It Had It Coming* (New York: Spiegel & Grau, 2010), xii.

[11] H.G. Seeley, "On the Classification of the Fossil Animals Commonly Named Dinosauria," *Proceedings of the Royal Society of London* 43 (1887–1888): 165–171.

[12] John Noble Wilford, *Riddle of the Dinosaur* (New York: Alfred A. Knopf, 1985), 168.

[13] Brian Switek, "Dinosaurs in Space!" *Dinosaur Tracking*, Blogs, Smithsonian.com, December 12, 2011, blogs.smithsonianmag.com/dinosaur/ 2011/12/dinosaurs-in-space/.

[14] See Adrienne Mayor, *Fossil Legends of the First Americans* (Princeton: Princeton University Press, 2005).

[15] George Gaylord Simpson, *Attending Marvels: A Patagonian Journal* (New York: Time-Life Education, 1982), 82.

[16] See Paul D. Brinkman, *The Second Jurassic Dinosaur Rush: Museums and Paleontology at the Turn of the Twentieth Century* (Chicago: University of Chicago Press, 2010).

第二章

# 恐龙成功的秘密

我这辈子见过的最不堪入目的恐龙就站在亚利桑那州 40 号州际公路边。这些残破的恐怖玩意就在石化森林国家公园（Petrified Forest National Park）岔道旁的斯图尔特石化木商店外，遭受着烈日的炙烤。它们的卡通形象再现了我儿时所见恐龙的精髓——浑身绿油油的皮肤和可怕的牙齿。其中一只骇人的恐龙——我只能猜想那是对暴龙的拙劣模仿——嘴里咬着一个有蓬乱红色假发的破旧女性模特。另一个饱经风霜的模特坐在正在一只朽烂的蜥脚类恐龙身上，身上缠着一团冰条灯。真可谓是芭比娃娃遇上《原子怪兽》。

用恐龙引诱顾客的高速路服务区可不止斯图尔特一家。在通往不远处国家公园的路上，还有好些不合时宜的恐龙站在服务区里。想吸引司机的注意吗？放个恐龙吧。这些奇形怪状的家伙让我思考，到底是什么造就了这些闻名遐迩的动物。大家显然认为路边的畸形雕塑都是恐龙，但其中大部分都与古生物学家所再现的生物截然不同。我想找出将这些雕塑联系在一起的东西，赋予这些惨不忍睹的路边怪兽恐龙之名的共征。但我一无所获。它们都有一点恐龙的感觉，但这是为什么呢？这个问题在我脑海里徘徊不去。但我没有停下车来让住在我心中的恐龙狂热粉去细细思考。

在这个明媚的十月清晨，我要去与石化森林国家公园的古生物学家比尔·帕克（Bill Parker）碰面。本来，我刚刚结束了亚利桑那州的一个科学写作会议，正在回家的路上。但此时却要绕一大圈去与帕克碰面，只是为了参观石化森林国家公园的恐龙化石，毕竟这个诱惑实在是难以抵挡。恐龙，是美国高速公路上那些可怕雕塑的灵感之源，而这次会面是个绝好的机会，能让我深入了解它们，并弄清两个相互纠葛的谜题——恐龙到底是什么？以及是什么让恐龙的繁荣时期如此绵长？

我几年前就在网上认识了比尔，他在古生物学博客小圈子里是个红人。他的博客叫 Chinleana，专门发布他自己的工作和相关研究。博客的名字来自钦尔组（Chinle Formation），这是一片广阔的晚三叠世地层，展露于石化森林以及其他区域。

当我到达公园的纪念品商店兼游客中心时，比尔只剩下几分钟的空闲。有时候行政会议得排在接见恐龙狂热粉之前。但没关系。即使只能在公园的典藏里流连五分钟也让我感到不虚此行。当我们穿过公园办公室走向化石修复和典藏区时，我告诉比尔，我绕路过来，是想了解石化森林区域的早期恐龙。比尔皱了皱眉头："其实，我们这里也没有那么多。"他领着我来到化石典藏区，开始进行说明。

在亮着蓝白色荧光灯的储藏室里，比尔跪下，打开了地上一个橄榄绿的矮胖保险柜，里面保存着公园发现的模式标本。这些重要的化石标本被人们用来确定三叠纪的新物种。比尔拉开一个抽屉，里面似乎是平凡的骨骼残骸，但这就是被称为钦迪龙的神秘早期恐龙给世界留下的小碎片。这件化石与众不同的特征让它得到了专门的命名。但我们对这种恐龙知之甚少，很难准确描述它生前的模样，也不知道谁与它的亲缘关系最近。古生物学家目前就只找到了和保险柜抽屉里一样零落的碎片。其实，这是大多数恐龙的际遇。与斯蒂芬·斯皮尔伯格在电影《侏罗纪公园》里描绘的相反，古生物学家通常只能找到恐

龙的单块骨头或碎片，部分完整骨架往往难以得见，而相互铰接的完整骨架更是稀世之珍。

这就是古生物学家要依靠比较解剖学来重建古代生命的原因。科学家将零碎的骨骼与其有着更完整骨骼的近亲进行对比，使研究对象的整体外形更加完整。可问题是，一些物种有时候并不存在明确的近亲可作为参照物，可怜又残缺的钦迪龙就是如此。石化森林区域只发现了两种恐龙，另一种被称为腔骨龙，我们对它了解得稍多一些。它是一种修长的掠食动物，得对更大更强的掠食性邻居退避三舍。而这种恐龙与园区几英里外那些庞大又阴森的可怕怪物毫无相似之处。

直到最近，古生物学家还都认为石化森林区域里可能存在第三种恐龙。锁上模式标本的抽屉之后，比尔指了指几个放在一列柜顶上的头骨铸模给我看。我能轻松地将这些复原后的头骨一手托起。它们看起来和今天的动物大不相同，修复后的头骨略似短吻鳄头颅那样高且深，但更短一些，还长着圆形的牙齿。比尔说，这是雷留图龙，一种虚有其名的“恐龙”。

许多年来，古生物学家都认为雷留图龙是一种难以捉摸的恐龙。艾德里安·亨特（Adrian Hunt）在 1989 年命名了该物种，当时发现的雷留图龙残骸只有几颗磨损的牙齿。但亨特根据其结构认为它们源自某种特殊的早期鸟臀类恐龙（角龙类、鸭嘴龙类和其他后期恐龙的祖先）。这一点非常重要！因为古生物学家当时已经找到了确定是北美三叠纪蜥臀类恐龙的骨骼（如腔骨龙，它是异特龙等掠食恐龙的古老亲戚，也是巨型蜥脚类恐龙的远亲），但还没有人找到过鸟臀类恐龙。也就是说，在此之前，三叠纪的恐龙族谱似乎有一半都不存在于这个大陆。亨特只找到了牙齿，牙齿暗示他还有骨架等待发掘。但在终于找到带牙的头骨之后，人们却发现雷留图龙根本不是恐龙。[1]牙齿的主

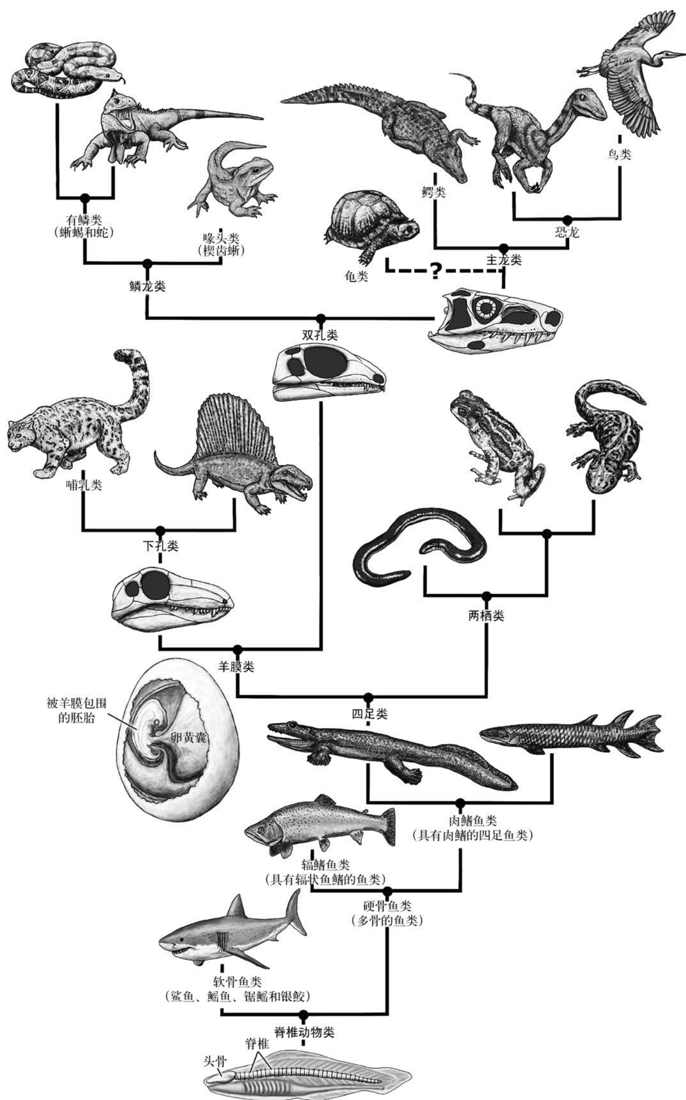
人和此前的推断截然不同，它在亲缘关系上与鳄鱼更近。

正如鸟臀类和蜥臀类是恐龙的两大分支，整个恐龙类都是主龙类这株大树上的枝丫。主龙类这个名字有着恰如其分的含义——“占据主导地位的爬行类”。延续至今的主龙类只剩下两类——鸟类和鳄类。而在过去的 2.5 亿年里出现过的不计其数的其他主龙类，现今皆已灭绝殆尽。

鸟类和鳄类是引导我们探索这个族谱的现代指南。主龙类通常分为似鸟的种类——鸟颈类主龙，以及似鳄的种类——伪鳄类。雷留图龙属于后者。威廉·帕克及其同事认为它可能是坚蜥类的远古亲属。这些浑身铠甲的主龙看起来就像鳄形的猪，长有骨板和棘。在三叠纪独有的奇异物种里，这些失落已久的鳄鱼表亲不过是沧海一粟。

钦尔组形成的时代生活着不可思议的生物。如能回到三叠纪的那个时期，你就会发现许多似曾相识的动物，它们是后世动物的先驱，但又说不上与任何一种现生物种完全一样。在那时，鸟类的恐龙形祖先是一类罕见且修长的动物；与第一只哺乳动物亲缘关系最近的古兽要么是从上一个纪元存活下来的笨重、带尖牙的动物，要么就是鼩鼱般的小毛球。大批古怪的鳄鱼表亲统治着大地，从浑身铠甲的杂食性动物到潜伏水底的掠食者，再到形似两足恐龙的怪兽，不一而足。爬行类自晚三叠世开始统治地球，而最早的恐龙只隐约显示出了未来的潜力。在成长过程中，我经常听说三叠纪是“恐龙的黎明”，但我知道得越多，这句话就显得越不合理。三叠纪的恐龙如同契诃夫之枪的史前版——已经上膛，但未击发，要等到地球演化故事后面晚得多的篇章才会一鸣惊人。

与比尔的会面让我迫不及待地想要看更多化石，特别是在恐龙称霸之前独步地球的主龙类。我来这里本来想寻找恐龙，但雷留图龙的头骨提醒了我：三叠纪的故事远不是只有我最爱的史前动物。



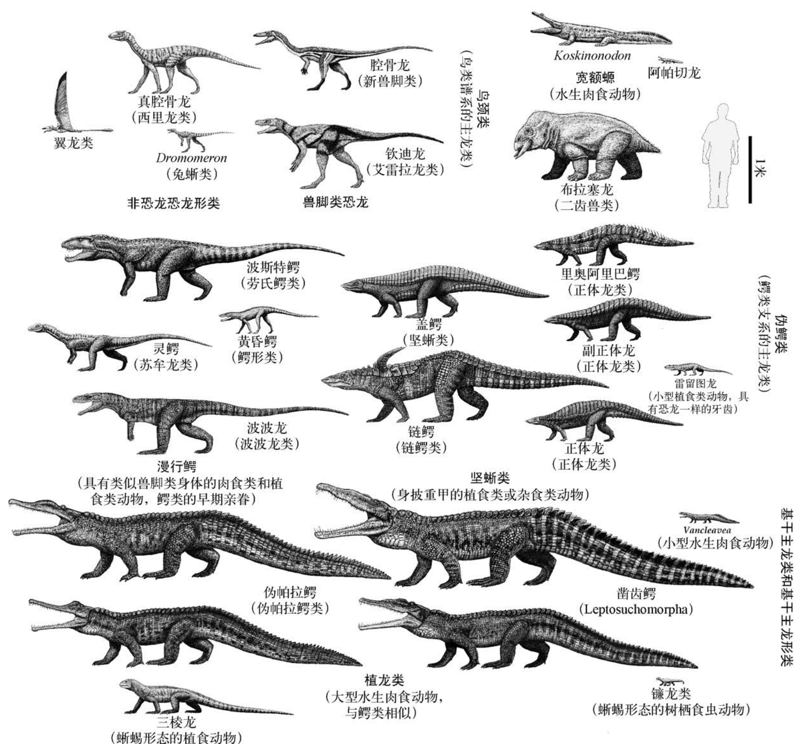

脊椎动物的族谱。右上角是主龙类——包涵恐龙在内的一个庞大族群。鳄类和恐龙(包括鸟类),在主龙类当中互为演化上的表亲。(杰弗里·马特兹绘)

幸运的是，石化森林国家公园的另一个博物馆里还有几种古怪的三叠纪生物，沿着公园的主路往下便是。我驶过荒漠小丘，脑子里想着这次能见识到怎样的东西。破碎的三叠纪树木残骸乱糟糟地在山丘和路堑探出头来，这些紫红色化石在灰色沉积物上营造出了一片超现实的史前森林遗迹。这里的原始森林已经支离破碎。我想把车扔在岔路口，自己去化石山丘漫步。但这得另寻机会，在继续踏上去往犹他州的归途之前，我只有一个小时的时间来探索彩虹森林博物馆（Rainbow Forest Museum）。

公园里被照得亮晃晃的展品中完全没有恐龙骨架的影子。彩虹森林博物馆说得很清楚，当石化森林区域的含化石层形成时，陆地还是鳄形主龙的天下——前提是你要去看说明牌，并且不会把所有已灭绝的大牙生物都称为恐龙。这里有几具古怪的古老骨架像极了恐龙，但实际上是完全不同的物种。小礼品店后面就是一件放在玻璃柜里的"植龙类"头骨。这种生物的脑袋很像鳄鱼，但我浸淫书籍和学术论文多年，自然明白这根本不是鳄鱼。最简单的分辨方法是观察鼻孔，鳄鱼的鼻孔在吻部末端，而在这件嘴似捕兽夹的主龙类头骨上，鼻孔位于眼睛附近。说实话，我们应该把鳄鱼称作"似植龙类"生物，而不是反过来说。早在鳄鱼使用等待–突袭这招来伏击猎物的数千万年之前，植龙类这种潜于水中的掠食者便早已熟练掌握了这项本领。

我发现另一个展台上有三具呈互相争斗姿态的骨架。它们也都不是恐龙，蹲在左边的是布拉塞龙，这是一种长着尖牙和喙状嘴的四足动物，也是和我们亲缘关系最近的爬行类。这种看起来呆呆的动物是此类动物里最后的血脉之一。世界曾经遍布哺乳动物的祖先，布拉塞龙便自那个时代繁衍而来。这种植食性动物，学术上被称为二齿兽类，它们的遗骨看起来就像是为桶状躯体接上了粗壮的四肢和长獠牙的乌龟脑袋。它们是三叠纪步履缓慢的大型植食者，也无疑是公园里同时

代顶级掠食者波斯特鳄的美餐。波斯特鳄是石化森林区域的食肉霸王，它们有着高且深的头骨、匕首般的牙齿，与鳄类先祖的亲缘关系最紧密。波斯特鳄看上去就像暴龙的鳄鱼版——四肢长在身体下方的庞然大物，追逐猎物时既可四肢并用，也可以只用两足。这实属是噩梦的好灵感。




石化森林国家公园钦尔组发现的晚三叠世动物群。长有相互契合颌部的植龙类（底部）、身披浑身重甲的坚蜥类（中部）以及其他鳄类表亲（如左边的波斯特鳄、灵鳄和波波龙）统治着陆地。画中只有两种恐龙——腔骨龙和钦迪龙（上部中间）。（杰弗里·马特兹绘）

右边的是链鳄。这是一种坚蜥类动物，钻研这些生物的科学家都将它们亲切地称为“坚甲怪”。兽如其名，这种钝鼻动物的肩上覆盖着好几道长条骨板和一组弯曲的尖刺。它们是杂食动物，既会撕咬植物，也会在远古的泥土里翻找吃食。鳄鱼的史前先祖并非都是嗜血如命的怪物。

这些三叠纪动物和它们的邻居们都在彩虹森林博物馆的下一个展区重获新生。维克托·莱希科（Victor Leshyk）最近完成的壁画展现了这个三叠纪动物群的全貌。这幅名为《晚三叠世生物》的画作里几乎没有恐龙，不过却展现了三叠纪的精髓。画面前方是一只游水的植龙类。远处河岸上有一只探头探脑的坚蜥。一只波斯特鳄用尾巴绊住了一只无助的小主龙，而正中间又有一只植龙类，它破水而出想要抓住一只岸边的腔骨龙。恐龙在石化森林区域就处于这样的边缘地位，画面里可看不到饥饿的腔骨龙成群结队地去捕杀对手。石化森林区域和世界别处都游荡者更加强大的生物，恐龙只是潜行于它们阴影之下的小角色。

我不喜欢将腔骨龙看作植龙类的口中餐。画中的场景发生于 2.25 亿年前，那时恐龙已经出现了约 500 万年。恐龙时代已经开始——难道植龙类和其他准掠食者们都毫无察觉？我知道这样腹诽有些傻乎乎的。恐龙一开始就是复杂生态系统中的一环，它们中有的是掠食者，更多的却是别人的猎物。离开博物馆之后，我一边穿过彩色山丘回到州际公路，一边想象着零散的石化木碎片变回了茂密的黑暗森林，正如同西海岸的红木树林。在我的幻想中，一只波斯特鳄在林地上巡梭，而远景处闪过些许绒毛和鳞光——那是一只恐龙飞掠而过。

三叠纪森林里的居民不畏惧恐龙。腔骨龙仿佛大地上的幽灵，没能展现出恐龙经典的霸主形象。不过在主龙族谱中的鳄类分支都灭绝殆尽之后，恐龙不仅幸存了下来，还繁荣昌盛。是什么东西改变了生

命的进程？是什么让恐龙如此特别？在驶往犹他州北部的时候，这个谜题在我的脑海里一直徘徊不去。我想线索也许就在恐龙有别于其他物种的特征之中。

我们对恐龙的认识一直变化不定。1824 年，当时尚无人知晓世上存在今日里被我们称作恐龙的生物，英国博物学家威廉・巴克兰（William Buckland）描述了一些奇怪的零碎骨骼，并将其命名为巨齿龙（“巨大的蜥蜴”）。“它的脊柱和四肢很像四足动物，”巴克兰对伦敦地质学会的同人说，“但从牙齿来看，这是一种卵生动物，属于蜥蜴亚目或者蜥蜴类。”这种人们还不甚了解的生物并不是羞怯扭动的爬行类。根据它股骨的大小和身体比例与现生蜥蜴一样这一假设，巴克兰认为巨齿龙“身高堪比最大的大象，体长只比最大的鲸略短”。第二个得到描述的此类爬行动物［第二年由吉迪恩・曼特尔（Gideon Mantell）命名为禽龙］是同样庞大的植食性动物。这些生物就像奇特又庞大的鳄鱼和鬣蜥，来自一个对现代人而言久远得不可思议的年代。

然后，理查德・欧文（Richard Owen）亲自给这些古怪的动物创造了一个名字。1842 年，他发表了一份英国爬行类化石的学术报告，其中并未将巨齿龙、禽龙和当时新发现的披着铠甲的林龙看作巨型版的现生蜥蜴和鳄鱼，而是将它们归作一类前所未有的独特爬行动物，代表着有鳞脊椎动物的巅峰。欧文依靠一系列独一无二的特征——从脊柱的特征到牙齿的形状——为它们量身打造了一个新的族群。它们就是恐龙，欧文所谓的“可怕的大蜥蜴”。

十年后，欧文得到了一个独一无二的机会，可以把自己对这些动物的看法推销给普罗大众。1852 年，艺术家本杰明・沃特豪斯・霍金斯（Benjamin Waterhouse Hawkins）受托为伦敦水晶宫的世界博览会修造恐龙以及其他动物化石的真实比例模型，而他作为科学顾问将与霍金斯合作。欧文描述了他心中的恐龙形象，将它们的解剖结构教给

霍金斯，而这位艺术家负责将设计落实。他重建出的等比例的恐龙，看上去就像犀牛和大象的爬行类版本——把鳄鱼的身体放到河马的底盘上，再裹上有鳞的皮肤。（现如今，这些早已过时的雕塑仍在塞登哈姆的水晶宫迎接访客。）欧文创造的巨齿龙和它的同类都与我们今天所知的恐龙相去甚远，只能算是怪异的爬行动物–哺乳动物杂交产物。

和前人一样，欧文的研究材料只有些许碎片。在创造那些古怪生物的时候，他将当时已知的知识和自己的理论混杂在一起。但当大西洋对岸的古生物学家开始在美国东北部的新英格兰地区探测含化石岩层时，他们的发现都与欧文和霍金斯的怪异雕塑没有太多相似之处。

1858 年，欧文的恐龙粉墨登场不过几年，博学的约瑟夫·利迪（Joseph Leidy）就描述了一具不完整的植食性恐龙骨骼，它发掘自新泽西州南部的一个泥坑。他将这个远古植食者命名为鸭嘴龙。它不像霍金斯所塑造的四足着地的模型，而是更加奇特的恐龙，它的前肢细短而后肢又长又壮。虽然这具骨骼缺失了很大一部分，但结合足迹和其他不完整的骨骼所提供的证据，它促使博物学家意识到，许多恐龙都是两足动物，而且出人意料地更接近于鸟类。美国古生物学家爱德华·德林克·科普（Edward Drinker Cope）和奥思尼尔·查尔斯·马什以及他们的英国同行托马斯·亨利·赫胥黎开始宣扬恐龙尤为特出的似鸟本质。艺术作品中的恐龙依然拖着尾巴用爬行动物的怪脸露出微笑，但它们的似鸟本质在 19 世纪 70 年代终于得以显露。

当时大多数古生物学家都同意是姿势让恐龙变得与众不同。不论是以两条腿还是四条腿,它们都能以直接生长于身体下方的肢体直立。数十年来，古生物学家都认为正是这个特征让恐龙得以繁荣昌盛。古生物学家艾伦·查理格于 1972 年确立了这一观点。[2]当时他刚开始研究恐龙为什么用直立的肢体站立，而当时人们所知道的鳄鱼和它们的

史前亲戚都长着向旁边展开的四肢。他研究了多种恐龙、鳄类及它们近亲的腰带和腿部。主龙类被分为三类：四肢展开的一类（和蜥蜴一样，腿部向旁边展开，通过爬行来运动）；姿势“稍加改进”的动物（和鳄鱼一样，上腿骨较为直立，和身体其他部分形成明显的角度）；以及柱状四肢直接生长于身体下方的动物，比如恐龙。这不仅体现了不同主龙类的肢体姿势，似乎还代表了恐龙演化出独特姿势的三部曲。查理格认为，恐龙与此前所有生物相比具有不容置疑的优势。而恐龙的独特之处在于，它们具有完美的姿态，减少了每一步所需的能量，最终使它们比其他生物都更加迅猛凶残。这个最显眼的特点让恐龙在速度决定一切的三叠纪中占据了竞争优势。

同时代的另一位古生物学家罗伯特·巴克在《恐龙的优势》一文中就这一观点进一步展开。[3]恐龙并不像一直以来所描述的那样身心懒散。巴克认为，身为哺乳动物让我们在看待过去的物种时戴上了有色眼镜，因此低估了恐龙。在三叠纪，我们的亲戚，包括身躯沉重的布拉塞龙和形似鼩鼱的小家伙，都在匍匐爬行，而早期的恐龙却已经可以高速奔跑。由于自然选择，恐龙的形体构造更加精妙，骨骼结构也有助于支持其他胜过我们哺乳动物祖先的特征（比如活跃的新陈代谢和复杂的行为）。当侏罗纪里演化出第一只哺乳动物的时候，恐龙已经占据了上风，它们的演化足足领先哺乳动物数百万年。按照巴克的说法，哺乳动物在物种竞争中长期以来屈居亚军的原因是，“它们在白天的竞争力不及恐龙，所以必须在树上和地穴中寻找日间庇护所以避开巨大的爬行动物”。[4]

在古生物学家发现接近族群系谱根部的恐龙之后，恐龙具有战术优势这一观点得到了有力的支持。1993 年，时值《侏罗纪公园》掀起恐龙热潮，古生物学家保罗·塞雷诺（Paul Sereno）、凯瑟琳·福斯特（Catherine Forster）和他们的同事命名了始盗龙，意为“黎明的窃贼”，

这件化石发现于阿根廷月亮谷（Valley of the Moon）约2.31亿年前的岩层中。这是当时发现的最古老的恐龙，看起来极像完备的掠食者。虽然它们最多只有约90厘米长，但它们长有可以紧抓猎物的带爪前肢和长满尖牙的嘴。数年前在同一区域发现的、和始盗龙生活在同一时代的艾雷拉龙，看起来则更是骇人。这种三米长的食肉动物拥有四四方方的头骨，上面长满了适合撕裂血肉的内弯形牙齿。最早的恐龙是迅捷嗜血的怪物，在陆地上称王称霸。

不久之后，已故的古生物学家和摩门教牧师威廉·西尔（William Sill）将早期恐龙肢体的直立姿势称为恐龙与其他早三叠世生物争斗的"秘密武器"。我记得煽情的系列纪录片《远古世界》曾这么说道："恐龙没有发明杀戮，但让杀戮变得完美。"西尔和其他古生物学家认为恐龙起初都是肉食性动物，在破晓时分一跃而出，撕碎所有落入它们手心的猎物。当它们后来在竞争中占据压倒性优势之后，部分种类才变成了更平和的植食性动物。

现如今，恐龙迅速推翻其他动物而统治世界这种喜闻乐见的故事，仍在新墨西哥自然史和科学博物馆上演着。我花了十小时驱车前往这个史前动物云集的地方，想去观看令人咋舌的长梁龙对战巨异特龙。（这两种巨大的恐龙都是同类中的最庞大者，曾被命名为地震龙和食蜥王龙，不过后来人们发现它们属于已知的属。）但在看到这个大型的战斗场景之前，我还得穿过按年代排列的三叠纪展品。半路上有一矮沙发围起来的黑暗小巷，那里在放映展示三叠纪基本生命法则的动画短片。解说员用舒缓的语调告诉我们，自然选择不仅解释了史前生命的剧变，也能让我们明白为什么有些生物（比如肺鱼）和它们的史前版本如此相似。并不是所有物种都必须攀援演化的阶梯。自然选择催生了自然界最惊人的转变，而在缺乏改变的推力时，它也能让某些物种

一成不变地繁衍数百万年。

解说员热心地告诉我们，恐龙经历了卓绝的剧变。比起蹲伏着蹒跚前进的祖先，它们在演化中取得了巨大进步，这让它们迅速占领了世界。当一只卡通恐龙踏踩着它那笨拙落后的祖先时，解说员解释道："恐龙区别于其他动物的地方是……它们的肢体是直立的，直接生长在身体下面。" 按照传统说法，直立给它们带来了优势，于是早期恐龙一路厮杀到了霸主的宝座。

但问题在于，此前数代的研究者都高估了直立姿势的作用。在找到新的证据后，古生物学家开始重新审视过去的观点，他们发现恐龙无法仅凭姿势独步地球。实际上，直立行走的动物不止恐龙这一支。这一改变摧毁了我们对恐龙本质的传统认识。人们曾经认为直立的姿势是鉴别恐龙的明显特征，同时也是恐龙发展壮大的秘密。而现在我们却发现事实并非如此，这个改变部分要归功于早期主龙类专家斯特林・内斯比特。[5]我在努力探索最早期的恐龙时也曾寻求过斯特林的帮助。

我想知道是什么因素让恐龙不同于主龙类的其他分支。斯特林告诉我，由于姿势不再是决定性因素，我们不得不转向其他线索，以找出是什么区分了恐龙与其主龙类亲戚。而要是你真想区分最初的恐龙与只是形似恐龙的动物，那你就得认真钻研它们在解剖学上的本质差异。

在恐龙与有直立肢体的似鳄主龙类表亲（比如波斯特鳄）之间，没经过专业训练的恐龙粉丝很难发现明显不同的特征。斯特林说，最关键的特征之一是上臂骨（肱骨）的大型缘，这里附着着部分胸肌。恐龙的这个区域要大于其他主龙类。当然，它们还有其他细微的不同，但与后来特征鲜明的恐龙不同，最早期的恐龙生活在一个充斥着趋同演化的世界里。类似的特征和自然史曾多次在早期主龙

类的演化中出现。

和我们想象的不同，新发现的化石并未帮助我们解决恐龙特征和繁荣这两个伴生的谜题，反而让它们变得更加头绪纷乱。古生物学家使恐龙族谱的根基越发丰满，还发现了与早期恐龙关系极近的亲属。斯特林说："一个又一个的发现让恐龙和其他主龙类之间的大部分形态学差异都消失了。"虽然最著名的恐龙——暴龙、迷惑龙以及它们的亲属——都和同时代的其他生物截然不同，但最古老的恐龙与其祖先并无太多差异。我们之所以认为恐龙独一无二，一定程度上是因为所有与它们相似且有近亲关系的主龙类都已灭绝。这以绝妙又复杂的方式印证了演化的宏大规律，但也让恐龙史的开端变得极难确定。我们还没有发现有鲜明的独立特征能够用来区分恐龙。

实际上，斯特林发现了一个意想不到的类似恐龙的生物，让恐龙的独特性遭受了沉重的一击。其实，这个神秘的标本算不上新发现，而是被人遗忘的老物件。它来自世界上最丰饶的三叠系化石产地之一：新墨西哥州北部的幽灵农场（Ghost Ranch）。

进入幽灵农场的时候，你会觉得这里一点也不像北美最重要的恐龙化石点。从新墨西哥州阿比丘附近那风景如画的公路上急拐下来，沙漠艺术家乔治娅·奥基夫（Georgia O'Keefe）的旧居现在已是基督教长老会经营的退休中心。此地遍布小平房和露营地。对古生物学家来说，在幽灵农场工作是奢侈的享受——公共澡堂里提供洗衣机和热水浴。在这种地方工作的古生物学家说不定都变得娇气了。

我第一次造访幽灵农场的时候，花了差不多一周时间来挑拣大门口含骨渣的灰色沉积物，它们都来街自对面的海登采石场。但让幽灵农场在全球古生物学家里闻名遐迩的化石点还在三叠纪山丘中更深处的地方。2011 年，在勘探即将结束时的一个平静午后，犹他州立大学的古生物学家兰德尔·伊尔米什（Randall Irmis）和夏季野外工作团队

的其他人带我去了那个地点。这个地方位于一条溪谷里，坐落于高耸的橙色岩壁之间，变形的砂质沉积物层叠于一处垮塌的岩壁之上。松散的沙子里点缀着白色石膏的碎片，那是很久之前挖掘工作的残迹。化石已被取走，这个化石点已经被挖掘殆尽，很多骨骼都还包在实验室的石膏壳中，等着修理和研究。但此地还残留着古生物学家努力工作的痕迹。这本是一片巨大的腔骨龙墓地。

正是腔骨龙的骨床让古生物学家交口传颂幽灵农场。[6]1947 年，埃德温・科尔伯特开始在幽灵农场搜寻化石。他的团队本来正在前往石化森林，只打算在此地停留片刻。但一名叫乔治・惠特克（George Whitaker）的队员发现了一些有意思的恐龙骨骼碎片，让其他人都不禁停下了脚步。在用剔针和小工具仔细清理泥土的时候，他们又发现了更多化石。这群人无意中闯入了一个纷乱的恐龙墓地，那是一片埋藏着无主珍宝的广阔土地。

科尔伯特的团队从六月待到了九月底，刚好有足够的时间来粗略研究一番。恐龙的骨骸有厚厚一层，采集单个个体的化石根本不现实。采石场里挖出了包裹着大量恐龙化石的大块岩石（一块巨大的、甜甜圈状的岩石依然待在幽灵农场的古生物博物馆里，后续工作还在继续）。单单这个化石点就产出了数以百计的腔骨龙标本。没人知道为什么会有这么多恐龙聚集于此。

但这既是幸事，也是不幸。野外考察的大量斩获经常让人无力细细地逐一清理和研究，幽灵农场的情况便是如此。为了研究和展示，工作人员修理出了保存良好的完整恐龙骨架。但还有很多石膏块被束之高阁，等着未来的分析。有些石膏块在美国自然史博物馆的储藏室里闲置太久，已经没人记得里面到底有什么东西。

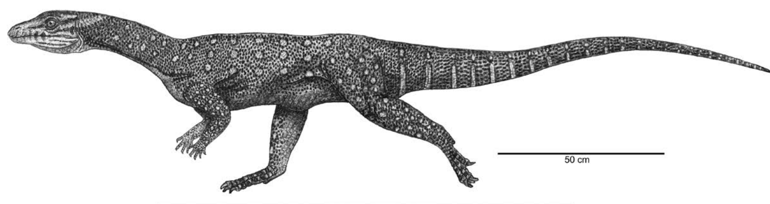
然后斯特林登场了。他那时是美国自然史博物馆的研究生。为了研究恐龙的解剖结构，他想尽可能多找些可以在实验室里好好修理的

腔骨龙标本。于是他浏览了科尔伯特在 1947 年绘制的、详细的骨床埋藏图。结果，一些别的东西引起了他的注意。地图上给几个石块打上了“植龙类”的标签，而这些水生掠食者在采石场里比较少见。斯特林找到了那块化石，开始修去上面的围岩。但他没有找到植龙类，露在岩石外面的腰带和足部属于一种极为罕见的主龙类。

那个生物很像人们知之甚少的主龙类“苏牟龙”，数年前有学者称其存在于得克萨斯的三叠系地层。但斯特林还需要更多证据来验证他的想法。令人沮丧的是，裹着前半部分化石的石膏包不见了，而里面埋藏着验证主龙身份的线索。“又过了两个月，”斯特林说，“典藏部的管理员告诉我，猛犸象藏品的头骨堆中混了个腔骨龙岩块。”

他迫不及待地想找出神秘石膏包里到底藏着什么。“我冲了过去，石膏就在那里，那个像‘苏牟龙’生物的前半部分，已经被修理了一些。”他回忆道，“我甚至能看到上下颠倒的头骨。”这种新生物的头骨不仅解决了主龙鳄形分支的一些谜题，而且它的骨架（来自四个标本）像极了恐龙。

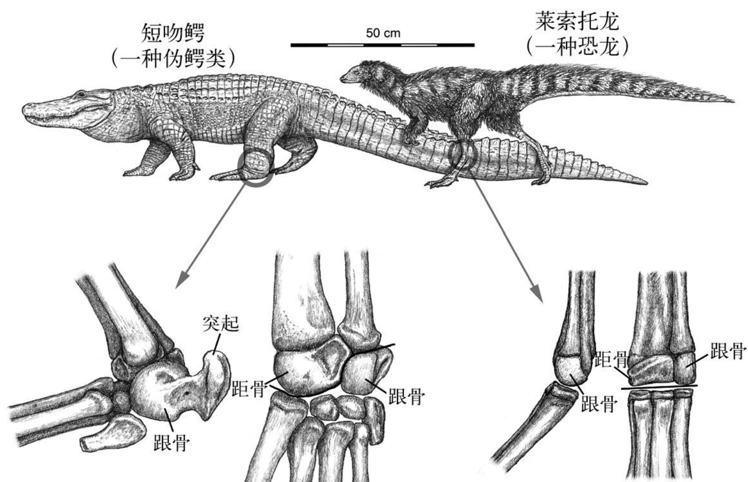
2006 年，斯特林和他的导师马克·诺雷尔将这个生物命名为奥氏灵鳄。[7]




恐龙不是唯一直立行走的主龙类动物。和鳄类亲缘关系更近的生物（比如上面的苏牟龙）也独立地演化出了两足直立的姿势，它们能够在陆地上迅速奔跑。（杰里弗·马特兹绘）

主龙类的踝骨结构透露了灵鳄的真实身份。恐龙的脚踝主要由一个大型的三角形距骨组成，还具有很小的附属踝骨，被称为跟骨。它们的脚踝类似简单的铰链。但似鳄主龙类具有的大型踝骨与一个复杂的结构锁定在一起，其中脚踝和足部的连接具有一个 S 形的分界。灵鳄的脚踝正是这种类型。

腰带关节也是关键的一环。恐龙的股骨头朝向骨盆凹陷的内部。但灵鳄的股骨通过与更类似于似鳄主龙类的方式和骨盆形成关节，其差异十分明显。尽管有着与鳄鱼不容置疑的亲缘关系，但灵鳄以两足直立的姿势行走，一如与它同处一个时代的早期恐龙。这种缺少牙齿的主龙类靠两足行走，长着长脖子和小短手，用长尾巴来保持身体平衡。恐龙致命又极有效率的骨骼结构终究不是它们的独门武器。




一种分辨似鳄主龙类和恐龙的方法是观察脚踝的结构。伪鳄类具有复杂的踝关节，背面还有大型的跟骨突起，类似于人类的脚跟。而恐龙（比如属于鸟臀类的莱索托龙）具有较简单的铰链状结构。（杰里弗·马特兹绘）

灵鳄不是演化的一个个案。这个生物与差不多生活在同一时代的苏牟龙十分相似。这两者都是没有牙齿的两足动物，而它们的近亲波波龙则留下了一具完美的骨架，表明地球上也曾存在过长着尖牙的品种。[8]这三种动物都属于劳氏鳄类的分支。和波斯特鳄一样，劳氏鳄这种骇人的生物也是陆生掠食者，长着类似恐龙的高且深的头骨和位于身体下方的四肢。

直立姿势并不是让恐龙所向披靡的独特之处。“这对我来说，一直是很有趣的争论。”斯特林说。不仅是因为史前物种世系间的演化竞争“几乎不可能”为人所知，而且“从灵鳄和波波龙可以看出来，至少在姿势上,不光恐龙有两把刷子”。姿势无法以一己之力成为决定性因素。那为什么是恐龙笑到了最后，而灵鳄和它的表亲都未能继续繁衍？答案很可能是恐龙“具有一系列独特的特性”，让它们取得了演化优势。

某些隐秘的特性让腔骨龙及其亲属胜过了似鳄主龙类。约 1.99 亿年前的侏罗纪之初，恐龙从边缘地带崛起，占据了曾经属于其他动物的生态地位。这场胜利并非得益于远古恐龙和其他动物持续不休的正面交锋。演化的对立面——经常遭到低估的灭绝，可能才是为恐龙创造繁荣世界的功臣。即使非鸟恐龙最后都为大灭绝所终结，但它们获得繁盛的机会还是多亏了几次生态灾难。

2.5 亿年前的地球尚未出现主龙类。地球的陆地上遍布着种类繁多的下孔类，它们与你我的亲缘关系要比与爬行类动物的关系近得多。长着桶状躯体和长牙的二齿兽类成群结队地寻找植物。丽齿兽类——长有剑齿的掠食者，形似肌肉过分发达的大型犬——正在追捕大型猎物。第一只真正的哺乳动物的祖先——小型的、步履缓慢的犬齿兽类——在二叠纪世界里掘地而居，四处嗅探。然后它们统统灭绝，一次空前绝后的大灭绝给地球的生物多样性来了一次大洗牌。海洋中 90%以上的已知物种就此消失，陆地上 70%以上的物种也遭到灭顶之灾。

三叠纪的曙光到来之际，曾经复杂而繁荣的生态系统里只剩下为数不多的物种，组成了几个惨遭极大削减的濒危群体。

人们对灭绝的具体成因只有一个大致的概念。最有可能的原因是：大量蛰伏于地下的温室气体被释放入大气，带来了迅猛的气候波动和狂暴的全球变暖。大气中的氧气骤然下降，海洋酸化，陆地高温，但还不至于让所有生命都毁于一旦。熬过这场灾难的幸存者们面对着一个荒芜却又充满无限可能的世界。各种互相作用的复杂生态系统都不复存在，幸存者相对而言摆脱了束缚，有了适应环境和产生新形态的可能。主龙类在新世界里得到了演化的青睐。

二叠纪大灭绝的影响消退之后，第一批主龙类诞生于世。这一族群的精确起源尚不为人所知，但主龙类于 2.44 亿年前就已漫步于整个地球。部分已知最古老的主龙类，如亚利桑那龙、戏楼鳄和梳棘龙，看上去就像鳄鱼版的灵缇犬，背负着巨大的帆板。[9]这些生物的发现在不断增加，它们之间的相互关系也在一次次修改，似乎主龙类在诞生之后就迅速变得多种多样。当亚利桑那龙大摇大摆地穿过今天的美国西南部时，恐龙的祖先也徜徉于承载着今日波兰圣十字山的土地上。[10]我们尚未在那里找到这种生物的遗骸，但美国自然史博物馆的古生物学家斯蒂芬·布鲁萨特和合作者发现了早三叠世的足迹化石，证明恐龙形类曾经在那里生活过。脚印的解剖学特征符合此类动物足部的骨骼结构——算不上真正的恐龙，而是有着更纤细长腿的动物。一段时间之后，它们组成的族群中分化出了第一只恐龙。严格意义上的恐龙尚未出现，但孕育了它们的主龙类世系在二叠纪大灾变之后，几乎立刻就从其他族群中分裂了出来。最近的一些发现，比如阿希利龙（一种优雅的中三叠世恐龙形类，具有瘦长的后肢和长脖子），至少部分代表了恐龙的先祖。[11]下孔类在二叠纪末期的衰退则为恐龙的祖先扫清了道路。

然而，正如我从三叠纪公路之旅中学到的，恐龙并非一夜之间就占领了地球。最初的恐龙十分稀少，始盗龙可能是更偏爱植物的杂食性动物，而不是人们最初所设想的可怕小怪兽。[12]形象的变化也影响了古生物学知识的常见传播者——充斥着 CG 影像的恐龙纪录片。热播的四集纪录片《恐龙革命》将始盗龙刻画成了一群色彩艳丽、怯懦的小东西，它们要对抗杂耍般、长着剃刀状颌骨的蜥鳄，后者是波斯特鳄的亲眷。[13]恐龙没能在三叠纪统御月亮谷，而是得在更强大的生物身边挣扎求生。

在三叠纪中，低微的恐龙只是主龙类演化史中的一小部分。如果你回到 2.3 亿年前而又对恐龙最终会占据地球一事一无所知，那么你可能会以为恐龙是一群无足轻重的小可爱。它们未来的崛起根本毫无征兆。同样的话也可以说给与它们生活在同一时代的人类亲眷。下孔类并没有完全灭绝，毕竟我们就是这些幸存到三叠纪的原始哺乳动物的后裔。

我们并不明白恐龙是如何从我们的下孔类先驱手里夺走了世界，现在还没有明确的答案。但对主龙类和下孔类化石的详细研究给了我们一条线索。当研究者回溯这两类动物在二叠纪之后的命运时，他们并没发现我们的原始祖先和主龙类有太多直接竞争的迹象。下孔类和主龙类没有为抢夺栖息地而直接开战。哺乳动物和它们的祖先多半都还是相对较小型的动物，而主龙类则演化出了各种各样的体型——从如鸽子般大的，到体长至少 30 米的大型蜥脚类恐龙。也许生物学限制起到了决定性作用。古生物学家在骨骼微结构方面的发现表明，鳄类和恐龙的祖先及其表亲比原始哺乳类生长得更快，繁殖得更早。短的世代时间使主龙类繁殖更迅速，被自然选择塑造成型的速度也更快。于是生长更快的主龙类就这样占据了生态空间，夺走了哺乳动物施展手脚的机会。

虽然已经了解了主龙类的崛起，但我还是不明白为什么恐龙在三

叠纪末期欣欣向荣而其他与其类似的动物——比如灵鳄和波斯特鳄却横遭灭绝。为什么其他主龙类动物没有孕育出我们无缘得见的非凡怪兽？毕竟在三叠纪的地球上，似鳄主龙类已经成为主龙类的主流，而恐龙势力远远不及。

三叠纪专家兰德尔·伊尔米什曾对我说，北美的恐龙很少且彼此相隔甚远，而且三叠纪时还没有鸟臀类恐龙，要不就是还没在北美发现过。即使在发现过鸟臀类恐龙的地方，比如南非，它们也都是罕见的小型动物。三叠纪里唯一的大型恐龙，是迷惑龙的原始先驱，即蜥脚形类恐龙。它们是晚三叠世欧洲部分地区的主要群体，但在其他地方不常见。总的来说，恐龙在诞生后出现了多种形态，但在侏罗纪之前都没能称霸地球。

另一场灭绝也起着至关重要的作用。它不像二叠纪的灭绝那么臭名昭著，自然也比不上 6600 万年前的白垩纪末期大灭绝。但世界各地的动物群在三叠纪末期出现过明显的衰减。气候变化、小行星撞击、强烈的火山活动都是常见的怀疑对象，但破解这些谜题的进展不大。不管发生了什么，地球突然失去了大约一半的物种。许多似鳄主龙类，比如植龙类、坚蜥类和劳氏鳄坚蜥都从陆地上消失殆尽，但恐龙似乎完全没受影响。

为什么恐龙的气运比它们的主龙类表亲都长久得多，这依然是困扰古生物学家的谜题。是什么让恐龙幸存下来，并开启繁茂历史，而它们的表亲则都灭绝于世？在这个问题上，还没有令人满意的假说。

古生物学家曾以为他们已经破解了恐龙的本质和成功的谜题，但现在我们发现并非如此。恐龙之所以有机会成为我们所喜爱的生物，机缘巧合才是最大的功臣。恐龙一路拼杀至世界之巅，将对手都踩在脚下这种脍炙人口的故事已经退出了历史舞台。根据斯特林的说法，

“随着我们发现更多新的三叠纪主龙类，恐龙就变得越来越没什么特别的了”。

二叠纪末期的灭绝为主龙类化扫清了障碍，它们进而凭借繁殖较早、生长较快等生物特性而变得多样化。而三叠纪末期的灭绝则消灭了占据当地主要栖息地的其他主龙类。按照伊尔米什、内斯比特和其他三叠纪专家的说法，可能是偶然和机遇将恐龙推上了霸主宝座。这些家伙简直走了大运！“恐龙刚出现时并没有注定的命运或者优势，”伊尔米什和他的同事总结道，“如果在早中生代里没出现各种偶然历史事件的话，地球也没法迎来恐龙时代。”

那些未曾实现的演化路径又会是什么样子呢？如果二叠纪末期或三叠纪末期的灭绝没有发生，世界又会是怎样的一番光景？恐龙将没法演化。我们可能也是一样的下场，哺乳动物的祖先可能会被其他恐怖的主龙类逼入阴暗角落。我喜欢将这些大事件想象成奇幻讽刺作家特里·普拉切特（Terry Pratchett）所谓的“时间裤子的分岔”。我们所知道的历史伸进了一条裤腿，但还有其他可能的结局。只有展开我们有限的想象，我们才能体验到别样的历史。虽然我们不可能知道所有可能出现却未能降临的演化历程，但恐龙的幸存为建立它们自己的王朝奠定了基础，而这样的王朝如此旖旎奇异，要不是我们已经知道它们的存在，恐怕我们就连做梦也想不出。就连幻想中的怪兽——双足飞龙、独眼巨人、奇美拉，还有各种神话造物——在古生物学不断挖掘出的动物化石面前都显得相形见绌。

虽然恐龙的形态如此奇异，但它们也得交配。至少脊椎动物是用这样的方式来给自然选择提供材料，产生变异所需的基因组合。有些变异就此消失，有些则在自然选择的不断筛选中扩散开来。不过，解答迷惑龙是怎么让对方性致勃勃这个问题该从哪里入手呢？我们得细细观察恐龙化石才能找到答案。

# 注释

[1] William G. Parker, Randall B. Irmis, and Sterling J. Nesbitt, "Review of the Late Triassic Dinosaur Record from Petrified Forest National Park," in *A Century of Research at Petrified Forest National Park: Geology and Paleontology*, eds. William G. Parker, S. R. Ash, and Randall B. Irmis, Museum of Northern Arizona Bulletin no 62 (Flagstaff, Arizona: Museum of Northern Arizona, 2006), 160.

[2] Alan J. Charig, "The Evolution of the Archosaur Pelvis and Hind-limb: An Explanation in Functional Terms," in *Studies in Vertebrate Evolution: Essays Presented to F. R. Parrington*, eds. Kenneth A. Joysey and Thomas S. Kemp (New York: Winchester Press, 1972), 121.

[3] Robert T. Bakker, "The Superiority of Dinosaurs," *Discovery* 3, no. 2 (1968): 11–22.

[4] Robert T. Bakker, "Dinosaur Physiology and the Origin of Mammals," *Evolution* 25, no. 4 (1971): 636–658.

[5] Sterling J. Nesbitt, "The Early Evolution of Archosaurs: Relationships and the Origin of Major Clades," *Bulletin of the American Museum of Natural History* 352 (2011), dx.doi.org/10.1206/352.1.

[6] See Edwin Colbert, *The Little Dinosaurs of Ghost Ranch* (New York: Columbia University Press, 1995).

[7] Sterling J. Nesbitt and Mark Norell, "Extreme Convergence in the Body Plans of an Early Suchian (Archosauria) and Ornithomimid Dinosaurs (Theropoda)," *Proceedings of the Royal Society B* 273, no. 1590 (2006): 1045–1048, doi:10.1098/rspb.2005.3426.

[8] Jacques A. Gauthier et al., "The Bipedal Stem Crocodilian *Poposaurus gracilis*: Inferring Function in Fossils and Innovation in Archosaur Locomotion," *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 52, no. 1(2011): 107–126, dx.doi.org/10.3374/014.052.0102.

[9] Richard J. Butler et al., "The Sail-Backed Reptile *Ctenosauriscus* from the Latest Early Triassic of Germany and the Timing and Biogeography of the

Early Archosaur Radiation," *PLoS ONE* 6, no. 10 (2011): e25693, doi: 10.1371/journal.pone.0025693.

[10] Stephen L. Brusatte, Grzegorz Niedźwiedzki, and Richard Butler, "Footprints Pull Origin and Diversification of Dinosaur Stem Lineage Deep into Early Triassic," *Proceedings of the Royal Society B* 278, no. 1708 (2010): 1107–1113, doi:10.1098/rspb.2010.1746.

[11] Sterling J. Nesbitt et al., "Ecologically Distinct Dinosaurian Sister Group Shows Early Diversification of Ornithodira," *Nature* 464, no. 7285 (2010): 95–98, doi:10.1038/nature.08718.

[12] Richardo N. Martinez et al., "A Basal Dinosaur from the Dawn of the Dinosaur Era in Southwestern Pangaea," *Science* 331, no. 6014 (2011): 206–210, doi:10.1126/science.1198467.

[13] Oscar Alcober, "Redescription of the Skull of *Saurosuchus galilei* (Archosauria: Rauisuchidae)," *Journal of Vertebrate Paleontology* 20, no. 2 (2000): 302–316, dx.doi.org/10.1671/0272-4634(2000)020[030:ROTSOS] 2.0.CO;2.

第三章

# 创生之谜

在芝加哥奥黑尔国际机场联合航空公司候机楼 B 厅里有一只恐龙。头一次见到这具骨架的时候，我还以为这是我那被飞行弄得晕乎乎的脑子赐予自己的一场海市蜃楼。

我讨厌空中旅行。真希望坐飞机的时候能享受金刚套餐——用镇静剂把我撂倒，装进板条箱，等到目的地了再卸下来。独自旅行的时候我总是全心全意等着落地，结果一路上吃得停不下来。然而，这习惯对三万英尺高空厌恶症并没有什么帮助。在怀俄明州完成化石寻猎之后，我从蒙大拿州比林斯的小飞机场开始了回归新泽西旧家的旅途。在芝加哥国际机场，我穿行于熙熙攘攘的候机厅，边吃着上段旅途中剩下的小包椒盐饼干和罐装汽水，边在闷热的等候区寻找座位。就在这时，那具恐龙标本进入了我的视线。我盯着它看了一会儿，等着它凭空消失，但它纹丝不动——这里耸立着一具令人惊叹的腕龙骨架。

B 厅的蜥脚类化石铸模曾经矗立在芝加哥菲尔德博物馆的斯坦利·菲尔德大厅里，直到价值 800 万美元的暴龙（名字叫“苏”）把它挤下了宝座。2000 年，它又在机场的店铺和广告之间重获新生。[1]我在候机厅里闲晃时，它的目光越过机场的 Wi-Fi 广告，仿佛在观望远处的飞机跑道，好看看是哪些飞机正在起起落落。

在我那些已过时的小学教科书里，腕龙被描绘成一种了无生气的无聊玩意，但我眼前的恐龙截然不同。沉重的双肩和柱状前肢让它仪态威严，颈椎骨组成的修长曲线和颈部末端带有圆形口部的方正头骨更添肃穆。它的头骨和其他几个部分都来自其近亲——长颈巨龙，这种恐龙生活在侏罗纪的坦桑尼亚。[2]但混杂的骨骼依然体现出了它身为最大型恐龙之一的魁梧体格。虽然腕龙可能无法再担此殊荣，但看到 26 米长的蜥脚类对我来说和目睹 30 余米的恐龙一样震撼。可以想象，我们渺小的哺乳动物祖先在看到这些巨兽时是怎样的心情。

我长久地凝视着这具化石，目光扫过每块椎骨的复杂凸缘，以及四肢上用于附着巨大肌肉的粗糙凸起。我让想象的目光继续流连，为骨架描摹上脏器和肌肉，最后给它披上棕色白点和白色条纹——就像长颈鹿。我没做太多原创，只是让从小看到大的青灰色恐龙涂装多了几抹亮色。此时一个怪异的想法突然蹦进我的脑海——如此庞大的动物该如何交配？

在头昏脑涨和筋疲力尽之中，我勾勒出一对热情勃发的腕龙，它们站在侏罗纪的针叶林空地上，等着对方率先行动。之后的情景实在是难以想象。我只能继续看着骨架，仿佛这堆虚假的骨头可以给我一点提示，但我只能想到它们的大尾巴肯定在共赴云雨的时候非常碍事。哎哟，我的航班开始登机了，于是我拖着沉重的步子挤进了其他疲惫又烦躁的乘客之中。至少恐龙交配的谜题能让我在最后一段旅程中有所寄托，从此它就在我脑海里徘徊不去。

正如英国古生物学家德雷克·阿格所说："现生动物普遍饱暖思淫欲。我们并没有理由认为在弗洛伊德出现之前的几亿年里就不存在这个关切。"[3]没错，恐龙具有交配的习性。从水中来到陆地的蜥蜴样生物留下了各种脊椎动物后裔，它们也都不例外。自 3.12 亿年前彻底变

成陆地居民之后，脊椎动物便再也没法把精子射进安全漂浮在小水塘里的柔软卵子中。硬壳蛋包裹着供胚胎发育的水环境，但产生硬壳蛋需要在水域之外进行体内受精，于是交配行为代代相传。从小小的披羽毛的近鸟龙到腕龙和其他庞大的蜥脚类，恐龙也是采用这种繁衍方式的一员。“很明显，在复原化石动物生活情况的过程中，”阿格写道，“我们必须考虑到它们的性行为。”

一个世纪前，有人第一次提出了恐龙激情邂逅的理论。1906 年，美国自然史博物馆的古生物学家亨利・费尔菲尔德・奥斯本用君王暴龙之间的柔情蜜意来解释它们广受嘲笑的手臂。[4]化石猎手巴纳姆・布朗（Barnum Brown）发现的一对暴龙样本清晰地表明它们的前肢短小但肌肉发达。奥斯本认为这种小手臂的用途不可能是擒拿埃德蒙顿龙或三角龙那么巨大的猎物，但可能是“交尾中的抓握器官”。想象一下，两头泰坦巨人般的掠食者交叠在一起，上面的雄性用健壮的小前肢抓着它的配偶。奥斯本经常请技术精熟的插画师来重现史前动物，可惜这次是个例外。

实际上，奥斯本并没认真考虑过恐龙的交配。同时代的很多其他古生物学家亦然。恐龙的交尾之事似乎是毫无研究价值的愚蠢课题，还会让严肃的研究者觉得上不了台面。当它只是被视为短暂的求偶行为或被分解为对基因库的量化分析时，性在自然史中是一个完全可以接受的课题。但一说起性交本身的肮脏细节，研究者们往往就尴尬了起来。在奥斯本短暂思索过暴龙性交之后不久，博物学家乔治・默里・利维克（George Murray Levick）加入了 1910—1913 年间的斯科特南极探险。阿德利企鹅（记得吗，现在我们知道它们属于现生恐龙！）“堕落的性交”让他深感震惊和厌恶。一只年轻雄企鹅欲对一只死去的雌企鹅行不轨之事更是让他惊恐万分。利维克选择用希腊语来进行记录，以便只有像他一样受过古典教育的科学家才能阅读他的发现。在编写有关

企鹅的著作时，他认为性行为的部分太令人厌恶，而且哗众取宠，于是尽数删除。这一段内容最后只能在一小群科学家里流传。（直到 2012 年，利维克在当时非常独树一帜的发现才重见天日，得到公开发表。[5]）即使是在现生物种里，性行为也是个禁忌的话题。要是有人打算研究恐龙交配中那些不体面的细节，那这位科学家必然会被看作变态。恐龙在侏罗纪的激情之夜中的所作所为都被史前的迷雾所掩盖。

不过，古生物学家也没有太多东西可以研究。化石中性的迹象着实难以寻找。在极罕见的样本中，我们可以看到有一对 4700 万年前的龟类在交欢中暴毙，可能还有一对鲨鱼在 3.2 亿年前的求偶中遭到迅速掩埋。可惜至今仍未发现和性有关的恐龙骨架，就连保存最完美的化石也丝毫没有生殖器官的痕迹。当然，其他器官也鲜有保留，有时我们发现了看似恐龙内部组织的化石，但最后也都是一场空欢喜。



比如在 2000 年，兽医保罗・费舍尔、古生物学家戴尔・拉塞尔以及他们的合作伙伴宣布发现了恐龙心脏的证据。[6]心脏化石镶嵌在"维罗"——一只小型植食性恐龙，称为奇异龙——的胸腔里，而且看似具有四个腔室和一根主动脉。但另一队古生物学家在 2011 年确认这颗"心脏"其实是一团在恐龙胸腔里凝结而成的富铁岩石。[7]他们发现了一些可能是恐龙细胞化石的小碎片，这意味着富铁沉积物灌注进暴露出来的恐龙心脏形成了这块岩石，但它本身并不是恐龙的石之心。

恐龙外部结构的遗骸恐怕对交配的研究无甚帮助。它们的皮肤印痕通常呈斑块状，而不是覆盖着恐龙全身的宽阔条状物体。但皮肤印痕即使保留下来也无法体现内部结构。不过，在读过 2012 年一篇有关鸭嘴龙类中龙栉龙的软组织印痕论文后，我向论文作者、菲利普・柯里恐龙博物馆的古生物学家菲尔・贝尔（Phil Bell）请教了精细结构会不会留下软组织痕迹。毕竟我知道古生物学家在 2009 年研究过一种古老得多的生物——3.8 亿年前的盾皮鱼类，里氏切盾鱼，并从中辨认出了已知最古老的

阴茎化石。[8]或许会有走大运的古生物学家有幸体验一回发现恐龙交配器官的惊喜。（我很期待这种发现荣登《自然》或《科学》的封面。）

但是贝尔不太乐观。他说问题在于软组织得设法形成化石，并以肠石为例进行了解释。它们并不是恶名远扬的粪化石。古生物学的教授似乎都很喜欢先问拿着粪化石的新学生，“你觉得这是什么”，然后再挑明这坨硬块其实是恐龙的粪便化石。肠石是粪化石的前体，用贝尔的话说就是“还没被拉出来的粪化石”。它们虽然令人作呕，但也能提供大量信息。肠石记录了恐龙肠道的形状和长度，比如发现于意大利的小型掠食恐龙——棒爪龙就保存着这样的化石。[9]在其他化石中（比如可怜的维罗），一些器官可能在开始腐烂的时候以污斑或凝结物的形式保留了下来。“我们对内脏的了解，”贝尔说，“都来自于在特定环境下比较容易发生化石反应的富矿物质部位（比如肝脏），或者是由更容易形成化石的物质（比如肠石）所提供的间接信息。”

但贝尔提到了一件惊人的化石，它保存着恐龙生殖器官的重要线索。大家都在猜测恐龙阴茎的模样，龙族的阳物肯定会跟它们的其他部分一样骇人而充满怪异的魅力吧？实际上，古生物学家更加了解雌恐龙的生殖器官，这还多亏了发现于中国白垩纪沉积层的一对特殊腰带。

在一只窃蛋龙——一种具有羽毛、头饰和喙部且形似地栖鹦鹉的恐龙——的腰带中，加拿大自然博物馆的古生物学家佐藤环和她的同事发现了一双龙蛋。[10]这头怀孕的恐龙死时正在巢中产卵。更令人振奋的是，这头雌龙结合了鸟类和鳄鱼的特征。两枚龙蛋都处于同一发育阶段，这表明恐龙和鳄类一样具有成对的输卵管。但只有两枚龙蛋说明它们可能和鸟类一样，每根输卵管里只有一个卵细胞。这符合古生物学家在窃蛋龙巢穴里观察到的现象——龙蛋都成对排列。这头怀孕的窃蛋龙终于解释了这种现象的成因。龙蛋之所以成对排列，是因

为它们被成对产下。

这个独一无二的样本使我们能够一窥雌性恐龙的内部生殖器官。可惜它没能为用于共享激情的解剖结构提供线索。为了解决这个谜题，我们得求助于和它们亲缘关系最近的生物——鸟类。

虽然我们通常会把它们看作完全不同的生物，但它们的确是一支特化的恐龙血脉，演化于约 1.5 亿年前并繁盛至今。鸟类与鳄类（短吻鳄、恒河鳄和鳄鱼，它们是和恐龙类亲缘关系最近的现生动物）一道构成了所谓“系统发生外括号”（extant phylogenetic bracket）。道理非常简单，鸟类和鳄类都具有的共同特征很可能也存在于非鸟恐龙之中。因此，我们可以利用自己对现生物种的知识来研究史前生物。

以泄殖腔（其词源为拉丁文的“下水道”）为例。这种听起来充满诱惑的小孔是生殖系统、泌尿系统和肠道的共同终点，鸟类和鳄类都用它来翻云覆雨。根据系统发生外括号的逻辑，我们可以推测恐龙很可能也具有这种器官。雄性迷惑龙缓缓走过时，恐怕你不会看到它们身下有什么玩意低垂着或摇摇摆摆。恐龙的外生殖器存放在泄殖腔里，看上去只是尾巴下的一条裂缝。科学家未能发现能区分雌龙和雄龙骨架的决定性差异，也就是说，我们无法区分雌雄异特龙，除非能观察到其生殖器孔的内部。

那么雄性恐龙的泄殖腔里藏着什么呢？我一想到恐龙交配的问题——可能想得太频繁了一点——就会发出神经质的笑声，还会对棘龙、腕龙以及它们后来的亲属做出恐怖的推测。剑龙和其他覆盾甲龙类总能让我产生最惊世骇俗的想法。这些恐龙身披稳固的甲板和尖刺，它们不仅得担心别在危险的亲昵中被捅个窟窿，而且肯定还没法采用普通的交配方式。我的朋友们多次放任我肆意想象，玩笑般地推测雄性恐龙长着具有抓握功能的阴茎，这让它们能安全地从远处和雌龙交配。这个想法让我的思绪坠入了生动的白日梦。可惜根本没有化石证

据表明是不是真的存在这种可怕的器官。

我们又得回到鸟类和鳄鱼身上寻找线索。鸟类的种类众多，繁殖器官和方式也不胜枚举。大部分雄鸟根本没有生殖器，它们通过一种名字尴尬的办法来向雌性递送精液，也就是"泄殖腔之吻"。但有些鸟天赋异禀。阿根廷湖鸭（南美硬尾鸭）的生殖器和体长之比在脊椎动物里傲视群雄。鸟类学者凯文·麦克拉肯不辞劳苦地研究了这种鸭子的邪恶下体，结果发现它们绕成螺旋的阴茎可以与体长相当。[11]其他种类的鸭子，包括公的和母的，也因具有惊人而复杂的性器官而闻名。[12]它们的结合，就像锁插进钥匙，或开瓶器的螺旋钻钻入迷宫，而这一切是两性之间为性进行的演化军备竞争的结果。不过，一柱擎天的鸟类都处于鸟类系谱的底层。马萨诸塞大学阿默斯特分校的鸟类学家帕特丽夏·布伦南及其同事认为，这表明阴茎对鸟类来说是一种原始的器官。[13]

和水鸟一样，雄性短吻鳄、鳄鱼和恒河鳄也都具有阴茎。[14]研究过鳄类的生殖器之后，动物学家托马斯·齐格勒和斯文·奥尔博特就写道："为了正确分辨鳄鱼的性别，我们必须固定住一只雄性鳄鱼，在它的泄殖腔里摸索外生殖器，还要把那玩意拉出来和相似的雌性阴蒂进行比较。"真是让人难以提起兴趣的工作。不过，鳄类和鸟类的"插入器官"让我们几乎可以肯定雄性恐龙具有阴茎。虽然我们还不清楚这玩意的模样，但鳄类和有阴茎鸟类都具有单一的外生殖器，上面还至少长有一条用于让精液在交配中流出的长沟槽。

恐龙的那话儿与这个基本结构有什么不同尚不明确。不过我怀疑答案不止一个。据斯蒂夫·王和彼得·多德森在 2006 年的估计，在 1.5 亿年的时间里，地球上出现过的非鸟恐龙属数量超过 1850 种。[15]因此在如此丰富的种类里，阴茎以及相匹配的阴道的结构肯定也让人目不暇接。（很可惜，我们也太不可能找到恐龙阴蒂的化石。有些问题终究无法解决。）

不过，复原恐龙的交配习性时需要对它们的解剖结构有比较深入的了解。我们得分辨出雄性和雌性，更重要的是，要分辨出两性之间是否具有更广泛的体格差异。现生鸟类和鳄类的泄殖腔是分辨性别的关键。但古生物学家没有这样的机会。明显为雌性且保存着恐龙蛋的骨骼十分少见，因此他们只能寻找可以区分雌雄的骨骼特征来代替基于软组织进行的鉴别。直到最近，科学界都认为鉴别的关键在于两性异形，即除生殖器解剖结构之外的两性差异，包括或许可以将雌雄恐龙区分开来的大小、花纹和其他特征。

这个理论只有一个问题：鉴别两性异形需要大量生活在特定地区和时间的恐龙样本。这种细节分明的样本十分少见。即使是公认研究最为深入的暴龙也只有时间跨度为 200 万年的 50 具样本。除非大量恐龙同时在同一地点死去，否则研究难以展开。

但重重困难也没能阻止古生物学家的尝试。彼得·多德森早在 1975 年的一项研究就彰显了性别分辨问题的难度。[16]在过去的几百年里，从距今 7400 万—7600 万年前的加拿大艾伯塔省的奥德曼组（Oldman Formation），古生物学家发掘出了三个属、十二个种的带头饰的鸭嘴龙。在对比鸭嘴龙头骨的参数时，多德森发现只有三种鸭嘴龙在基本一致的时间里生活在同一地区，即鹤鸵盔龙、赖氏赖氏龙和大冠赖氏龙。它们外形相似，但头饰不同。盔龙具有低矮的圆形头饰，而两种赖氏龙分别长着短斧状头饰和弯曲的长头饰。多德森认为，这些原本被古生物学家视为是种族差异的特征其实不过是个体差异或同一物种在不同年龄阶段的表现。多德森还相信，自己已经解开了这三种鸭嘴龙类的两性异形之谜。以大冠赖氏龙为例，一个性别的头饰高高隆起，而另一性别的头饰可能较小，但结构相同。他怀疑更醒目的头饰属于雄性，比较低调的则属于雌性。

其他有些古生物学家甚至声称赖氏龙的两个种其实应为一种，头

饰较大的为雄性，头饰较小的为雌性。毕竟头饰是非常显眼的视觉信号，雄性赖氏龙可能会利用它们宣示自己的统治地位、活力和力量。头饰越大，雄龙的吸引力就越强。

然而，古生物学家误读了这个证据。在分析过多德森研究的部分化石后，加拿大古生物学家戴维・埃文斯和罗伯特・赖斯发现，大冠赖氏龙的确是单独的一个种，而不是雄性的赖氏赖氏龙。[17]多德森认为是"雌性"的头骨已经破碎，所以才看似较小。因此，目前并未发现这些恐龙中存在两性异形的证据。

就连君王暴龙的性别都扑朔迷离。在 20 世纪 90 年代，一些古生物学家认为雌性君王暴龙的尾巴根部和腰带之间的距离较宽，以便产卵。[18]若该理论成立的话，我们就能据此分辨出雌性恐龙。可惜天不从人愿，后来在研究过化石和雌雄短吻鳄的解剖学差异之后，古生物学家发现所谓的间隙实际上并不存在。[19]

其他有关恐龙性别特征的理论也都没得到很好的证明。很多恐龙的骨骼都被提出存在性别差异，从体态匀称的小型早期兽脚类合踝龙到蒙古著名的原角龙，再到背负巨型长钉的剑龙类肯氏龙，不一而足。然而，研究者尚未发现这些特征能够可靠地鉴定性别。也许有一天我们会发现具有两性异形的样本，但目前的恐龙样本数量很少，仍不能提供明确的证据。[20]

由于雌雄恐龙的骨骼差异即使存在也非常模糊，因此我们只能依靠更加直接的证据来区分它们的性别。在恐龙体内发现正在发育的恐龙蛋，比如珍稀的窃蛋龙样本，是鉴别雌性恐龙的方法之一。不过我们还有另一个选择。

2000 年，一具君王暴龙的样本终于为我们揭示了鉴别雌性恐龙的一种方法。[21]落基山博物馆的野外团队，在蒙大拿州立大学的杰克・霍纳的主持下，在某个夏季走了化石大运：在蒙大拿州地狱溪组的发掘

中，他们一口气发现了五具暴龙样本，包括因发现者鲍勃·哈蒙（Bob Harmon）而被戏称为“B. rex”的样本。这具六米长的化石身处陡峭悬崖，让挖掘工作非常困难。总算完成发掘之后，包裹好的股骨又太过沉重，把雇来的直升机困在了偏远的发掘点。大家只好忍痛把它分成两块运输，而这个决定最终带来了突破性的成果。

田野工作时的遗憾在玛丽·施魏策尔那里变成了意外之喜。她曾是霍纳的学生，也是一名恐龙组织显微研究专家。B. rex 被发现之时，她正在寻找还没被树脂、胶水和其他化石固化剂浸泡过的化石。新鲜化石未经处理的表面可能存在有关恐龙生化信息的线索。霍纳给刚开始在北卡罗莱纳州立大学任教的施魏策尔寄去了一些骨骼碎片，它们来自刚敲碎的股骨。这份礼物让她得到了仔细研究君王暴龙化石骨骼原始样本的机会。

研究结果让施魏策尔大为震惊。暴龙死亡的时候已怀有身孕。[22]股骨中一种特殊的组织泄露了这个秘密。某些雌鸟在孕育鸟蛋时会在后肢的长骨干中生长出被称为髓质骨的薄层组织。这种组织富含钙质，为蛋壳的形成储存着材料。施魏策尔在 B. rex 的骨头里也发现了同样的组织。这个发现不仅意味着非鸟恐龙首先演化出了这种妊娠生理反应——暴龙是鸟类始祖的远亲，所以这种特征肯定见于恐龙谱系中更古老的物种——它还让施魏策尔和她的同事珍妮弗·维特迈尔发现了一种辨别部分雌性恐龙的微妙手法。该技术并非适用于所有恐龙，因为只有怀孕的雌性才会产生这种组织。但髓质骨依然不失为一种从古生物学家收集的众多恐龙样本中分辨雌性的方法。

加州大学伯克利分校的研究生安德鲁·李和莎拉·韦宁利用这项发现研究了恐龙性成熟的时间。[23]虽然髓质骨是个新发现，但专家们多年来都在利用骨骼的微观结构探索恐龙的生长发育。以前的研究发现，恐龙骨骼上存在可以用来估算死亡年龄的年轮。这种条带被称为

停止生长线（LAG），很可能代表了在处境特别艰难时减缓的生长速度，比如水和食物都很少的旱季。这给古生物学家提供了线索。结合骨组织类型的研究结果和重建的恐龙生长曲线，这些年轮表明恐龙的生长速度在生命早期非常迅猛,最终在骨骼接近成熟的时候缓和下来。

除了研究 B. rex，李和韦宁还在另外两种恐龙体内发现了髓质骨：长着喙状嘴的早白垩世植食性恐龙腱龙和侏罗纪的肉食性恐龙异特龙。它们都是年轻的母亲。两位研究者估计腱龙死于 8 岁，异特龙死于 10 岁，而暴龙死于 18 岁。这几位母亲的骨骼尚未完全成熟，可见生前仍处于生长期。这些发现表明，恐龙在一般情况下会很早开始繁殖。就该研究中的各个恐龙而言，髓质骨只能表明每种恐龙最晚会在什么时候开始性行为。

恐龙生长迅速但生命不长久。李和韦宁认为快速生长和早期繁殖可能是生活危险艰辛而必须尽早交配以传递基因的征象。这一点对体型最巨大的恐龙来说尤为重要。如果迷惑龙这种 24 米长的恐龙需要几十年才能达到性成熟，那就只有少数成员可以获得繁殖机会。而据李和韦宁的估计，它们可能会在远未达到最大体型的时候就开始交配，即 19 岁左右。毕竟青少年就是这么有激情。

古生物学家逐渐对恐龙交配的生物学有了概念。但具体的交配行为仍然是个谜题。它们到底如何挑选伴侣、卖弄风头？颜色鲜艳的角鼻龙类在约会时是不是像约翰·屈伏塔一样神气地昂首阔步？迷惑龙会不会互相摩挲颈部来制造浪漫气氛？对古生物学家来说，沉浸于远古幻想之中其乐无穷。已故的古生物学家埃德温·科尔伯特在他的童书《恐龙之年》中打了个马虎眼，没有提到“雷龙”相爱的细节。[24]“它们的渴求达到了顶峰，于是开始了交尾。”科尔伯特平铺直叙地写道。说不上多柔情蜜意。不过，在由威廉·斯托特精致绘图的《恐龙》一书中，作者威廉·瑟维斯为整个过程增添了多一点色彩，并想象出

了一个副栉龙的繁殖场所——在那里，雄龙们为了引诱雌龙踏入自己那一小块湿地而发出了响亮的“浑厚嗓音，在动物界里空前绝后，无人能及”。[25]

恐龙是喜欢爱的咬痕还是互相拥抱，这些秘密都已湮灭于时间长河之中。不过古生物学家怀疑恐龙身上很多奇怪的特征都与它们的性生活有关。恐龙的装饰结构和交配之间存在关联的观点符合查尔斯·达尔文最重要的理论框架——性选择。达尔文意识到，生物不仅要为生存而奋斗，还要争取繁衍的机会。在一些交配系统中，雄性必须跟其他雄性同类竞争有生育能力的雌性。而雌性的关注度有所不同，毕竟通常是由她们承担着繁衍的主要负担：雄性在繁衍中只需要投入一点精子即可，雌性则需要投入大量资源来孕育胚胎。雌性之间自不必说也有竞争。这些性别间和性别内的竞争催生了复杂的信号和虚张声势的行为：从雄性园丁鸟极富艺术气息的建筑到美洲短吻鳄低沉的吼叫和力量炫耀，不一而足。当然，最终的目的都是性。如果不能留下后代，这些最好的生存特征也就毫无意义了。

由于无法直接观察非鸟恐龙的行为，我们只能从骨骼里推测它们的性生活。头饰、尖刺、甲板、角和羽毛都是主要的展示结构，也可能体现出了恐龙的健康状况或统治地位。古生物学家和热门儿童剧《恐龙火车》的主持人斯科特·桑普森就认为，甚至连我们也为那些精妙的装饰而热爱恐龙，如同情欲勃发的恐龙一样被这些性感的结构所吸引。[26]

但要从化石中找出性选择的证据困难重重，特别是恐龙中还缺少两性异形，而这是最经典的性选择指征。迷惑龙、腕龙和它们蜥脚类亲眷那优雅的长颈最近引起了争论，有人认为这种奇怪的形状体现出性选择的影响。这种假说源自长颈鹿。

长颈鹿为何演化出颀长颈部的经典理论认为，它们为了能吃到竞

争对手头上的食物而逐渐使颈椎增长。但在 1996 年，动物学家罗伯特・西蒙斯和吕・舍佩斯提出了不同的观点。[27]雄性长颈鹿经常“脖斗”。这听起来很有趣，但实际上却很残酷。争斗中的雄性会晃动颈部，用头上的短角攻击对方。它们依靠这种争斗来确立统治地位。控制着领地的优势雄性或许能比失败者获得更多的交配机会（如果失败者能从这种有致命危险的厮打中存活下来的话）。因此，西蒙斯和舍佩斯提出这种竞争推动了长颈鹿颈部的演化。起初它们的祖先颈部较短，但随着颈部稍微长点（因而摇动的力量也更强）的雄性更常获胜，得到更多繁衍的机会，这种长颈部的选择使长颈鹿变成了今天的模样。他们的理论被称为“颈部为性而生”。

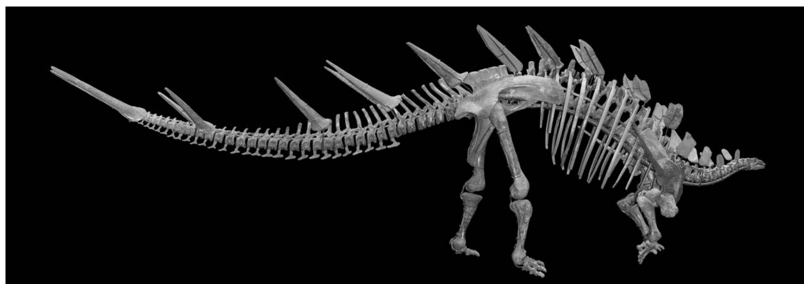
十年之后，费耶特维尔州立大学的古生物学家菲尔・森特将这个观点用到了蜥脚类身上。[28]森特认为，蜥脚类的长颈部并没有给它们带来垂直高度上的优势，而只能让它们更易吃到低矮树木上的叶子。同时，颈部变长也可能让它们更易受侏罗纪掠食者的侵害。异特龙或蛮龙都可能会咬穿迷惑龙毫无防护的颈部，给自己来一份重达数吨的蜥脚类鲜美大餐。既然蜥脚类的颈部在生存中没什么用处，甚至还可能带来极为沉重的代价，那么这个特征就可能是它们在数代交配传承中建立起来的一种视觉信号。

但蜥脚类专家家麦克・泰勒、戴夫・霍恩、马特・韦德尔和达伦・奈许反驳了森特的性选择假说。[29]他们指出，蜥脚类恐龙很可能大部分时间都扬着颈部，这明显具有觅食优势。迷惑龙在站定之后能在无需移动的情况下采食到上方、下方和两边的植物。（长颈鹿也是如此，长颈部赋予了它们觅食优势，颠覆了“颈部为性而生”的观点。[30]）而且蜥脚类由韧带、肌腱和骨骼支撑的优雅颈部其实非常坚固，异特龙不可能轻易咬穿。与森特的观点恰恰相反，这四位专家认为，这些巨龙正是依靠坚固的长脖子才成功生存了下来。

但这并不是说迷惑龙及其亲眷的颈部与交配毫无关系。蜥脚类颈部的演化可能扩大了它们的觅食范围，同时也在性事里起着作用。在交配季节，颈部可能充当着巨大的活展板，显示着主人的健壮程度。很多大型恐龙都不用为逃命而躲藏——掠食者可能更愿意捕食幼龙和小型猎物——所以硕大的蜥脚类不需要保护色。诸如“雷龙”的恐龙会不会在交配季节里在颈部长出炫目的彩色花纹，以博取异性的注意和炫耀自己最是健康性感？这类问题让古生物学家夜不能寐。

其他恐龙也会稍微炫耀一下自己。长着尖刺的肯氏龙可能会觉得异性的甲板和刺颇为挑逗，而雌性阿马加龙可能更想与颈部棘突最长的雄性结为连理。我们无法确定，但这些醒目的视觉信号很可能确实在交配竞争中发挥着一定功用。

接受求欢的恐龙可以从对方的装饰结构中看出炫耀是否属实。华丽的外表要靠能量支撑，想要光彩夺目就得能量充足。优秀的伴侣应具有非常引人注目的外表健康。中生代的恐龙们想给对方留下好印象时可能做出了不少跺脚、鸣叫和炫耀的行为。但这又让我们回到了那个挥之不去的恐龙性事谜题：在搔首弄姿和炫耀之后，它们到底怎么交配？



这具复原的骨架属于侏罗纪剑龙类中的肯氏龙。这种恐龙会用尖刺发出性的信号吗？就算不是，它们又是怎么开始交配中微妙的求欢？（H. 泽尔摄，引自维基百科：en.wikipedia.org/wiki/File: Kentrosaurus_aethiopicus_01.jpg）

我们先假设恐龙没有巨大的阴茎。（对不起了暴龙先生。）它们要使泄殖腔紧密接触才能完成交配。完成这一过程的具体方式取决于恐龙的身体条件，对此我们只能进行推测。美国自然史博物馆在 1993 年推出了一个令人震撼的场景：侏罗纪的一只重龙妈妈直立而起，要与即将袭击自己孩子的异特龙战斗。博物馆明确表示这只是推测，并没有确切证据。但它还是在古生物学家中激起了轩然大波。这么巨大的动物在仅用后肢站起的时候怎么可能没有让后肢像牙签般折断呢？它的心脏又该怎么给大脑输送足够的血液？传统观点的捍卫者认为这个装架是放肆又煽情的臆断，而主张恐龙是敏捷、活跃的人却认为它是体现恐龙领域新观点的绝佳示例。

我在罗格斯大学的古生物学初级课程上见到这具著名的展品时，教授指出部分蜥脚类恐龙肯定会不时用这种姿势站立起来。不然它们怎么交配呢？生物力学专家 R. 麦克尼尔 · 亚历山大也持同样观点。[31] 他认为恐龙的交配方式类似今天的大象和犀牛——雌性必须在交配时承受雄性的重量。最主要的不同之处在于，恐龙具有较硬的巨大尾巴。基于雄龙会将前肢搭在雌龙背上这个观点，亚历山大提出，雄龙的重量由雌龙身体的后半部承担。虽然重量惊人，但亚历山大强调，这种压力不会超过行走带来的压力，因为在一个单步周期中，恐龙可能需要由一条后腿来承担全部体重，同时另外三条腿全部不接触地面。“既然恐龙能够这样行走，那交尾也不是问题，”亚历山大写道，“它们可能结实到能同时完成这两件事情。”

它们的交配体位也是只能依靠推测。我和妻子特蕾西讨论过这个问题，幸好她觉得研究恐龙性生活不是什么奇怪的事。她说：“也许雌龙的生殖器长在更容易接触的地方。比如在身体侧面，就像汽车油箱开口一样。”很明显，恐龙是非智能设计的又一例证。

不管恐龙用什么方式交配，雄龙都得想办法插入雌龙。[32]这是古

生物学家贝弗利·霍尔斯特德（Beverly Halstead）为公众介绍恐龙性事时的主要观点。（这位是古生物学界的传奇人物，因为他经常在讲课时带夫人一起展示中生代恐龙爱经的体位。）他认为恐龙的行事方式和现生蜥蜴及短吻鳄一样。据他推测，雄龙用前肢抓住或搭在雌龙身上，并让一条后腿跨在对方背上，以便将自己的腰带推到雌性的尾巴下方，从而使泄殖腔相互接触。而长尾恐龙可能需要将尾巴像蛇一样缠绕在一起。霍尔斯特德的观点经过少许修改后成为了现在最受欢迎的假说。

但我从不满足于这种中规中矩的解释。在二维层面想象恐龙的交配不是难事，然而我们并不知道它们的腿和尾巴是不是真的能够弯曲到传统体位。而且剑龙的交配方式不符合这个想象。一想到肯氏龙到底怎么欢爱我就头疼。这种覆盾甲龙类是著名剑龙的表亲，它们颈部和上背的小甲板逐渐过渡成成对的巨大尖刺，包括腰带上的庞大棘刺，可见后背骑跨体位根本没法实现。为了确认这一点，我还专门询问过我的古生物学家朋友海因里希·马利松。

马利松曾利用柏林自然史博物馆的肯氏龙骨架建立了数字扫描，好研究这种尖刺植食者的灵活性。他发现肯氏龙的摆尾弧度达到 75 度，估计速度为 10 米/秒。[33]“这种摆尾速度，”他写道，“可以让尖刺深深扎进软组织或肋骨之间，也足以粉碎骨头。”看来这种恐龙可不好惹。但他的文章让我想到了肯氏龙生命中更加温情的时刻。如果马利松能做出模拟肯氏龙灵活性的模型，那我们就能用这种模型在三维层面测试恐龙的交配体位。

怂恿身为研究者的朋友用他自己精心制作的虚拟恐龙模型肆意交欢实在是有点微妙，幸好马利松也对这个主意充满热情。传统观念里的体位无法实现。如果雄性肯氏龙妄图把腿搭在蹲伏的雌性背上，那它必然会被尖刺夺走胯下之物。一根腰带上尖刺似乎正好位于让剑龙类追求者们尤其胆战心惊的位置。此外，尾部和腰带严重限制了它们

的灵活度，让它们没法做出经典的恐龙式体位。这些多刺的恐龙肯定有其他交配方式，幸运的话，用虚拟恐龙胡闹一番或许就能得到答案。

恐龙生活中最重要的一面依然迷雾重重。不过，肯氏龙及其亲属肯定对此事极为熟稔才得以繁衍。事实上，史前爱情的结晶——恐龙蛋和幼龙——正开始向古生物学家展示恐龙在生长发育中会发生多么巨大的变化。

## 注释

[1] Bradley Keoun, “Replica of Dinosaur Fossil Gives O’Hare Passengers Monstrous Welcome,” *Chicago Tribune*, January 20, 2000, articles. chicagotribune.com/2000-01-20/news/0001200303_1_dinosaur-skeleton-brachiosaurus-love-dinosaurs.

[2] Michael P. Taylor, “A Re-evaluation of *Brachiosaurus altithorax* Riggs 1903 (Dinosauria, Sauropod) and its Generic Separation from *Giraffatitan brancai* (Janensh 1914),” *Journal of Vertebrate Paleontology* 29, no. 3 (2009): 787–806, dx.doi.org/10.1671/039.029.0309.

[3] D. U. Ager, *Principles of Paleoecology* (London: McGraw-Hill, 1963).

[4] Henry Fairfield Osborn, “*Tyrannosaurus*, Upper Cretaceous Carnivorous Dinosaur (Second Communication),” *Bulletin of the American Museum of Natural History* 22, no. 16 (1906): 281–296.

[5] Robin McKie, “‘Sexual Depravity’ of Penguins that Antarctic Scientist Dared Not Reveal,” *Guardian*, June 9, 2012, www.guardian.co.uk/world/2012/jun/09/sex-depravity-penguins-scott-antarctic.

[6] Paul E. Fisher et al., “Cardiovascular Evidence for an Intermediate or Higher Metabolic Rate in an Ornithischian Dinosaur,” *Science* 288, no. 5465 (2000): 503–505, doi:10.1126/science.288.5465.503.

[7] Timothy P. Cleland, Michael K. Stoskopf, and Mary H. Schweitzer, “Histological, Chemical, and Morphological Reexamination of the “Heart” of a small Late Cretaceous *Thescelosaurus*,” *Naturwissenschaften* 98, no. 3 (2011): 203–211.

[8] Per Ahlberg et al., “Pelvic Claspers Confirm Chondrichthyan-like Internal

Fertilization in Arthrodies," *Nature* 460 (2009): 888–889, doi:10.1038/nature08176.

[9] Cristinao Dal Sasso and Marco Signore, "Exceptional Soft Tissue Preservation in a Theropod Dinosaur from Italy," *Nature* 392 (1998): 383–387, doi:10.1038/32884.

[10] Tamaki Sato et al., "A Pair of Shelled Eggs Inside a Female Dinosaur," *Science* 308, no. 5720 (2005): 375, doi:10.1126/science.1110578.

[11] Kevin G. McCracken, "The 20-cm Spiny Penis of the Argentine Lake Duck (*Oxyura vittata*)," *The Auk* 117, no. 3 (2000),820–825.

[12] Patricia L. R. Brennan et al., "Coevolution of Male and Female Genital Morphology in Waterfowl," *PLoS ONE* 2, no. 5 (2007): e418, doi: 10.1371/journal.pone.0000418.

[13] P. L. R. Brennan et al., "Independent Evolutionary Reductions of the Phallus in Basal Birds," *Journal of Avian Biology* 39, no. 5 (2008): 487–492, doi:10.1111/j.2008.0908-8857.04610.x.

[14] Brandon C. Moore, Ketan Mathavan, and Louis J. Guillette Jr., "Morphologist and Histochemistry of Juvenile Male American Alligator (*Alligator mississippiensis*) Phallus," *The Anatomical Record* 295 (2012): 328–337, doi:10.1002/ar.21521; Thomas Ziegler and Sven Olbort, "Genital Structures and Sex Identification in Crocodiles," *Crocodile Specialist Group Newsletter* 26, no. 3 (2007): 16–17.

[15] Steve C. Wang and Peter Dodson, "Estimating the Diversity of Dinosaurs," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 37 (2006): 13601–13605, doi: 10.1073/pnas.0606028103.

[16] P. Dodson, "Taxonomic Implications of Relative Growth in Lambeosaurine Hadrosaurs," *Systematic Zoology* 24, no. 1 (1975): 37–54.

[17] D. C. Evans and R. R. Reisz, "Anatomy and Relationships of *Lambeosaurus magnicristatus*, a Crested Hadrosaurid Dinosaur (Ornithischia) from the Dinosaur Park Formation, Alberta," *Journal of Vertebrate Paleontology* 27, no. 2 (2007): 373–393.

[18] Kenneth Carpenter, "Variation in *Tyrannosaurus rex*," in *Dinosaur Systematics:*

*Approaches and Perspectives*, eds. Kenneth Carpenter and Philip J. Currie (New York: Cambridge University Press, 1990), 141; P. L. Larson, "*Tyrannosaurus* sex," in *Dino Fest: Proceedings of a Conference for the General Public*, eds. Gary D. Rosenberg and D. L. Wolberg, The Paleontological Society Special Publication 7 (Knoxville: The Paleontological Society, 1994), 139.

[19] Gregory M. Erickson, A. Kristopher Lappin, and Peter Larson, "Androgynous rex—The Utility of Chevrons for Determining the Sex of Crocodilians and Non-Avian Dinosaurs," *Zoology* 108, no. 4 (2005): 277–286, dx.doi.org/10.1016/j.zool.2005.08.001.

[20] Kevin Padian and Jack R. Horner, "The Evolution of 'Bizarre Structures' in Dinosaurs: Biomechanics, Sexual Selection, Social Selection or Species Recognition?" *Journal of Zoology* 283, no. 1 (2011): 3–17, doi: 10.1111/j.1469-7998.2010.00719.x.

[21] Jack Horner and James Gorman, *How to Build a Dinosaur: Extinction Doesn't Have to Be Forever* (New York: Dutton, 2009), 61–67.

[22] Mary H. Schweitzer, Jenifer L. Wittemeyer, and John R. Horner, "Gender-Specific Reproductive Tissue in Ratites and *Tyrannosaurus rex*," *Science* 308, no. 5727 (2005): 1456–1460, doi: 10.1126/science.1112158.

[23] A. H. Lee and S. Werning, "Sexual Maturity in Growing Dinosaurs Does Not Fit Reptilian Growth Models," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, no. 2 (2008): 582–587, doi: 10.1073/pnas.0708903105.

[24] Edwin H. Colbert, *The Year of the Dinosaur*, illustrated by Margaret Colbert (New York: Charles Scribner's Sons, 1977), 101.

[25] William Stout and William Service, *The Dinosaurs: A Fantastic View of a Lost Era* (New York: Bryon Preiss Books, 1981), 13–14.

[26] Scott Sampson, "Bizarre Structures and Dinosaur Evolution," in *Dinofest International: Proceedings of a Symposium Held at Arizona State University*, eds., Donald L. Wolberg, Edmund Stump, and Gary D. Rosenberg (Philadelphia: The Academy of Natural Sciences, 1997), 39–45.

[27] Robert E. Simmons and Lue Scheepers, "Winning by a Neck: Sexual Selection

in the Evolution of Giraffe," *The American Naturalist* 148, no. 5 (1996): 771–786.

[28] Phil Senter, "Necks for Sex: Sexual Selection as an Explanation for Sauropod Dinosaur Neck Elongation," *Journal of Zoology* 271, no. 1 (2006): 45–53, doi:10.1111/j.1469-7998.2006.00197.x.

[29] Michael P. Taylor, Mathew J. Wedel, and Darren Naish, "Head and Neck Posture in Sauropod Dinosaurs Inferred from Extant Animals," *Acta Palaeontologica Polonica* 5, no. 2 (2009): 213–220, doi: 10.4202/app.2009.0007; M. P. Taylor et al., "The Long Necks of Sauropods Did Not Evolve Primarily Through Sexual Selection," *Journal of Zoology* 285, no. 2 (2011): 150–161, doi: 10.1111/j.1469-7998.2011.00824.x.

[30] Elissa Z. Cameron and Johan T. du Toit, "Winning by a Neck: Tall Giraffes Avoid Competing with Shorter Browsers," *The American naturalist* 169, no. 1 (2007): 130–135; G. Mitchell, S. J. van Sittert, and J. D. Skinner, "Sexual Selection Is Not the Origin of Long Necks in Giraffes," *Journal of Zoology* 278, no. 4, (2009): 281–286, doi: 10.1111/j.1469-7998.2009.00573.x; R. E. Simmons and R. Altwegg, "Necks-for-sex or Competing browsers? A Critique of Ideas on the Evolution of Giraffe," *Journal of Zoology* 282, no. 1 (2010): 6–12, doi: 10.1111/j.1469-7998.2010.00711.x.

[31]R. M. Alexander, *Dynamics of Dinosaurs and Other Extinct Giants* (New York: Columbia University Press, 1989), 57–58.

[32] Timothy E. Isles, "The Socio-Sexual Behavior of Extant Archosaurs: Implications for Understanding Dinosaur Behavior," *Historical Biology* 21, nos. 3–4 (2009): 139–214.

[33] Heinrich Mallison, "CAD Assessment of the Posture and Range of Motion of *Kentrosaurus aethiopicus* Hennig 1915," *Swiss Journal of Geosciences* 103, no.2 (2010): 211–233, doi: 10.1007/s00015-010-0024-2; H. Mallison, "Defense Capabilities of *Kentrosaurus aethiopicus* Hennig, 1915," *Palaeontogia Electronica* 14, no. 2 (2011), 10A: 25p.

第四章

# 不断变化的恐龙

很久以前，我和小学同学在自然课上观看了小鸡怎样破壳而出。那时我还不知道自己看到了恐龙的出生。对年幼的我来说，鸟和恐龙是生命之树上两根截然不同的枝丫。而现在我明白了它们的关系。回想起那只小小的兽脚类，它显然继承了恐龙的生活方式。不管你喜欢什么恐龙，它们那可爱的小宝宝都要破开恐龙蛋才能踏进这个世界。

恐龙是卵生动物，这个简单的事实耗费了人们数十年时间才得以确定。在发现第一只恐龙之后的整整一个世纪里，古生物学家都没弄明白它们到底是用什么方式繁衍生息的。威廉·迪勒·马修等部分专家认为恐龙是胎生动物——它们的雌性或许会像大象一样每次孕育一个巨大的后代。而其他古生物学家则认为恐龙和现生爬行动物更为相似，也就是说，它们会在巢中产卵。这个问题直到 20 世纪 20 年代才找到答案。当时美国自然史博物馆向蒙古派遣了一支考察队，他们回国时带来了如假包换的恐龙蛋。这个发现终于让古生物学家确定幼龙是在精心构筑的龙巢里孵化。而这又带来了其他问题。小恐龙是马上开始和成年龙一样的生活，还是会得到父母的照料？这些问题始终萦绕着后来发现的恐龙蛋、龙巢、幼龙和孵蛋的成年龙。从这些复杂的标本里，古生物学家得到了出人意料的研究结果。恐龙不仅外形古怪，就连生长

方式都独具一格。

实际上，当时的古生物学家没有意识到蒙古的恐龙蛋何其重要。这些椭圆形的化石不仅是恐龙筑巢的证据，还和后来一起偶然的发现一道揭示了一个戏剧性的误会，从而让我们对幼龙的生活有了更深入的了解。

在戈壁沙漠里收集恐龙蛋时，美国自然史博物馆考察队的古生物学家认为它们属于附近发现的小型角龙类，即原角龙。但他们也发现了另一种和这些白垩纪龙巢有所关联的恐龙，它们是优雅的似鸟兽脚类，长着没有牙齿的喙部。1942 年，亨利・费尔菲尔德・奥斯本在描述这种恐龙时将其称为嗜角龙窃蛋龙，意为“喜欢角龙蛋的偷蛋者”，因为这种恐龙的头骨正好压在一堆恐龙蛋上。窃蛋龙和龙巢的距离很近，因此奥斯本写道：“这说明可能是沙暴杀死了这种正在洗劫巢中恐龙蛋的动物。”于是这种假想的猎食者的恶行被铭刻在了它们的名字里。

然而，窃蛋龙并非恐龙蛋窃贼。1994 年发现的迷人幼龙为我们揭开了这个真相。美国自然史博物馆的古生物学家马克・诺雷尔及其同事描述了一具令人惊叹的精致化石。[1]他们于 1993 年在戈壁沙漠里另一处恐龙遗骸丰富的化石点发现了这具化石。它向我们展示了蛋壳里蜷曲着的窃蛋龙类恐龙胚胎——这个可怜的小家伙发育得非常完整，古生物学家认为它被沉积物包裹起来时已临近破壳。而蛋壳的解剖结构和所谓的原角恐龙蛋——也就是多年前在蒙古考察中发现的第一批恐龙蛋——一模一样。奥斯本的窃蛋龙其实是在保护自己的龙巢。但根据分类学的规则，这类恐龙得永远背负“偷蛋贼”的恶名。

起初，窃蛋龙父母会抚育孩子的论点只是基于相应恐龙蛋的形状提供的间接证据。但在发现恐龙胚胎后不久，诺雷尔和其他古生物学家就发现了有窃蛋龙类骨骼保持着坐在巢上孵蛋的姿态。这类恐龙身披美丽的羽毛，它们会用长有羽毛的前肢怀抱着自己的蛋。

窃蛋龙之外的恐龙也会照顾后代。事实上，多年前在另一片大陆上的一个重大发现就已表明恐龙会照料龙巢，甚至幼龙。20 世纪 70 年代，古生物学家杰克·霍纳和鲍勃·马凯拉（Bob Makela）根据化石猎人马里昂·布莱德福德（Marion Brandvold）提供的线索发现了一大片鸭嘴龙类的筑巢地，他们将这个位于蒙大拿州的化石点命名为“蛋山”。这是一片化石宝地，布满了龙巢、恐龙蛋以及处于各个生长阶段的恐龙——从新生幼龙到成年龙应有尽有。更妙的是，解剖结构表明，最幼小的恐龙刚孵化不久，还没有强壮到能够离巢生活。研究者认为，这些鸭嘴龙类的幼龙肯定至少要在巢中度过一小段依靠父母提供食物的日子。无怪乎霍纳和马凯拉要将这种恐龙命名为慈母龙。

在马凯拉和霍纳发现蛋山的将近同时，在另一块大陆上发现的另一片筑巢地进一步表明慈母龙化石点并非偶然。多种恐龙都会照顾幼龙。1976 年，古生物学家詹姆斯·基钦（James Kitching）在南非金门高地国家公园找到了一块恐龙蛋埋藏地，其位于约 1.9 亿年前的地层中。基钦认为它们属于大椎龙，这是一种瘦长的、两足的、基干蜥脚形类恐龙（后期蜥脚类恐龙的古老形态），具有长脖子、小脑袋和尖端长有巨爪的短小前臂。它们保存在和恐龙蛋时代相近的地层中。但基钦当时不知道部分恐龙蛋里保存着极罕见的恐龙胚胎。在 2010 年彻底清理和整理这些恐龙蛋时，古生物学家罗伯特·赖斯及其同事发现两枚蛋里蜷曲着蜥脚形类恐龙的小小骨骼。[2]这些尚未出世的小家伙外貌笨拙。它们脖子不长、四肢粗短、眼睛很大，简直萌到犯规。虽然这些骨头不同于成年龙，但其解剖结构却与基钦命名的大椎龙相符合。

而且还有更多恐龙蛋。在重新定位化石点之后，赖斯及其同事不仅收获了更多恐龙蛋，还发现了分布在多个岩层中的龙巢和足迹。[3]大椎龙母亲每年都会来此地筑巢。幼龙的足迹表明它们在孵化之后依

然生活在筑巢地，直到体型至少长大一倍。父母一方或双方会留下来照顾尚未离巢的幼龙。鸟类有护巢行为，现生鳄类也会在幼鳄出生后守护它们一小段时间，所以有理由设想大椎龙具有相同的行为（还记得系统发生外括号原则吗？）。

恐龙不会随随便便选一个地方就作为筑巢地。有些种类甚至会专门寻找具备特定特征的筑巢地。最惊人的化石点位于阿根廷的下白垩统岩层中，该地是遍布温泉和其他地热特征的盆地。[4]自然地热可以温暖蜥脚类的龙巢。想想看吧，长脖子的怪兽们走过了史前黄石公园里仿佛异域的间歇泉盆地。我们还不清楚它们是会照料恐龙蛋，还是只修筑龙巢。部分古生物学家认为蜥脚类可能“管生不管养”——这些巨龙挖掘巢穴、产下恐龙蛋后就撒手不管。

不同恐龙对后代付出的心血似乎各不相同。实际上，有非常吸引人的线索表明，蜥脚类以外的恐龙会和幼龙在一起度过一段较长的时间。比如古生物学家在蒙大拿州西南部找到了掘奔龙挖掘的地穴。[5]这是一种长有喙部的小型两足鸟臀类恐龙。我们之所以知道地穴是它们的手笔，是因为它们骨架就在自己制造的地穴之中，包括一起埋葬于大型地穴里的一具成年龙骨骼和两具幼龙骨骼。这些可怜的恐龙同时遭到掩埋，说明有些生长迅速的恐龙的幼崽会在孵化后和父母一起生活几个月，甚至几年时间。

和其他动物一样，恐龙的孩子迟早也要和父母分道扬镳。蒙大拿州立大学的戴维·瓦里基奥，这位曾研究过掘奔龙地穴并一直试图拼凑出恐龙生活史整体面貌的研究者认为，多个恐龙骨床——从三角龙到蜥脚类的阿拉摩龙和看上去像鸵鸟的兽脚类中国似鸟龙——都保存着年纪相仿的幼龙，这说明幼龙在离巢之后会聚集在一起。[6]这些幼龙已经长到了可以自谋生路的大小，但并未孤身独行或加入更年长的同类。相反，很多幼龙会组成独立于成年龙的群体，而且通常表现得

像一群正符合它们年龄的笨拙青少年。

通过对胚胎、新生龙和幼龙的不断研究，古生物学家发现非鸟恐龙的系谱中有一个普遍定律，即幼龙和父母并不是一个模子里刻出来的。刚出生的慈母龙具有大眼睛和短吻部。如果没有灭绝，它们肯定能在 Cute Overload 网站上成为大热门。15 厘米长的大椎龙宝宝用四条腿在龙巢边摇摇晃晃学步的时候可一点也不像它们 6 米长的两足父母。笨拙的新生儿在成长为惊人的成年龙的过程中发生了彻头彻尾的改变。这种剧变让古生物学家有时会将已知种类的幼龙错当成新的恐龙。该问题已成为古生物学界里越来越受人关注的争论焦点之一。最受公众欢迎的恐龙之一——三角龙就是这场争执的最佳代表。

2010 年，不求甚解的新闻界又开始悲号，因为杰克・霍纳和他的博士生约翰・斯坎内拉要将三角龙放逐到废弃恐龙的垃圾堆。那是“恐齿龙”、“糙齿龙”和很多其他恐龙的长眠之地。一些记者满怀悲情地误解了事实，他们并没想到很多恐龙都经历了复杂的“成长之痛”。

一切都开始于当年的七月，斯坎内拉和霍纳发表了一篇关于三角龙外貌如何随年龄而变化的论文。[7]霍纳和合作者马克・古德温在之前的化石发掘及研究中已经证明了从婴儿到成年的这段时间里，三角龙的角和头饰会发生何种变化。但斯坎内拉和霍纳还有其他发现。他们曾以为成年三角龙是具有前向眉角和实心头饰的大脑袋植食者，但这些标本其实并没有发育完全。所有大型三角龙实际上都是青年时期的成年龙，而完全成熟的个体则被错分成了另一种属。

在恐龙生物学与我们试图为恐龙命名和分类的努力之间的这种张力由来已久，几乎与古生物学一样古老。三角龙便是一个经典案例。自打博物学家在 1887 年（当时正值科普和马什骨头大战的高潮）首次发现三角龙的骨骼以来，它的形象就始终在变化。[8]正是在那一年，

身为高中老师和业余地质学家的乔治・坎农（George Cannon）在科罗拉多州丹佛附近的暴露岩面发现了一部分头盖骨和一对巨大的角。他将角和其他一些碎片寄给了纽黑文的马什。这位耶鲁大学古生物学家查验过骨骼之后认为此般利器必然属于某种巨大的植食者。骨骼似乎很像美国西部的经典象征——北美野牛。因此马什将这种神秘的动物称为长角北美野牛。

但马什的野牛判断并不妥当。坎农还在保存着角的岩层里发现了无疑是属于恐龙的骨骼化石。为什么野牛会和白垩纪恐龙存在于同样的地层？直到另一位化石猎人于 1889 年将一块残缺的恐龙头骨寄给马什，这个谜题才得以揭开。新的化石也具有类似于巨型“野牛”的角，因此马什推断坎农发现的生物必然是恐龙的一员。根据这个新资料，马什将“野牛”改名为恐怖三角龙，然后又在 1890 年依据另一具标本命名了第二个种，优美三角龙。

从“雷龙”的故事可以看出，马什喜欢根据残缺不全的标本命名新物种，尽管这些标本只与已知的化石略有不同。

对马什来说，角的弯曲不同或者骨板的角度发生了变化都足以建立一个新的种或属。所以毫不奇怪，当他的助手约翰・贝尔・哈彻（John Bell Hatcher）于 1891 年在怀俄明州保存有三角龙的地层中发现一对不寻常的残缺头骨时，马什认为这些颅骨代表着新的角龙属，并将之命名为牛角龙。牛角龙被认为是类似于三角龙的另一种三角恐龙，但这种大脑袋植食者的头饰更加修长，顶骨上还有两个巨大的圆孔。

一个多世纪以来，古生物学家都沿用了马什的观点。但斯坎内拉和霍纳在检验牛角龙的时候发现，它们并未自成一类。马什的宽牛角龙具有与三角龙相同的栖息地和生存年代，其他古生物学家也发现这两种恐龙的区别不过是少数几个头骨特征。这都表明牛角龙实际上是完全发育成熟的三角龙。斯坎内拉和霍纳认为，三角龙的头饰在生命

晚期会更加巨大，顶骨上也会出现大洞，而且分裂变平的孔洞边缘长有三角形的装饰结构（或称周围成骨）。

蒙大拿波兹曼市的落基山博物馆里陈列的标本充分展现了这种骨学上的剧变。我在 2011 夏季野外考察的休息期间来这里参观了一番。这座以古生物学为主的博物馆门口矗立着一只正在搜寻猎物的、外号“大麦克”的霸王龙，而货真价实的化石、模型和铸型标本在昏暗的走廊上各就各位。徜徉其中，我特意驻足欣赏了异特龙“大阿尔”的头骨，以及玻璃展柜里一个分解后的腱龙头骨。后者的旁边是一只真实比例的植食性恐龙，它正在恐爪龙那折刀一样的爪子下煎熬。这两头恐龙都被一分为二，一半有血有肉，另一半则只有骨骼。




三角龙（A）和牛角龙（B）的头骨。它们是两种不同的恐龙吗？或者牛角龙其实是发育完全的三角龙？（图片来自 www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0032623）

最后一个展厅中的巨大角龙类同样如此。这个低着脑袋、角指向前方的庞然大物也只有一半穿上了皮肉。它半边身体覆盖着皮肤，而另一半则仿佛在照 X 光片。我想将这家伙称为牛角龙，因为头饰上有个大洞。但它旁边就放着一系列展示三角龙生命历程的真实化石和铸型，从新生儿到老年成员，一应俱全。它们表明这个老年牛角龙标本是处于最后一个发育阶段的三角龙。依次排开的三角龙头骨差不多展现了这种恐龙的一生。头饰很短的幼龙只有几个供角部发展壮大的突起。随着年龄的增长，头骨逐渐增大，而眉角先是向后弯曲，然后又再次弯向前方。最大的头骨（也就是那个老年牛角龙头骨的复制品），放进这个系列里似乎再合适不过。钝鼻角、向前弯曲的眉角、小型的周围成骨，以及两个位于头饰的大洞，一切似乎都表明这就是我们寻找已久的三角龙最终形态。我对着陈列思索了良久，它们讨人喜欢，但为什么三角龙会发生如此巨大的变化？在实心的头饰为变成有孔类型（比如牛角龙标本）的过程中，记录着变化发生的重要标本又在哪里？我决定去问问加州大学伯克利分校的古生物学家马克・古德温，他和霍纳一起描述了三角龙从婴儿成长为壮硕成年龙的过程。[9]

伯克利分校的博物馆坐落在生命科学楼中。这里主要作为研究机构使用，而非面向公众的展馆。但走廊里还是摆放着几个复原标本。比如我们的远古先祖“露西”的铸型，她趴在一块写着“R.I.P. 露西，320 000”的墓碑下面。这具著名的南方古猿阿尔法种骨骼由伯克利分校的古生物学家蒂姆・怀特（Tim White）最早描述。这里还有一具令人印象深刻的暴龙铸型，这头外号“旺克尔暴龙”的家伙正冲着路过图书馆楼梯的学生们咆哮。

一对三角龙头骨欢迎着图书馆的访客。比较大的一个具有典型的三角龙形象——长鼻子、三根角、实心头饰。但另外一个铸型只是和

三角龙略相似，其原型是世界上唯一一个三角龙婴儿的头骨，也就是落基山博物馆里三角龙生长序列的头一位。在我看来，三角龙宝宝算不上丑。这个小小的三角恐龙有一种与众不同的魅力，海牛和沙皮狗也有这种亲切的可爱感。博物馆的副馆长古德温把真正的小头骨锁在了楼下的文件柜里。

古德温的办公室是典型的古生物学家工作室。荧光灯泡在单调的白色房间里泛着刺眼光芒，这里遍地都是论文单行本、铸型标本、书籍和化石样本。古德温的办公桌上刚好有分解开的三角龙头骨，他在拿起一块骨头的时候我正在尽量克制自己作为粉丝的狂热情绪。那块骨骼是一根眉角，但和图书馆头骨上的头饰不太一样。这些角略向后弯，古德温和霍纳认为这是亚成年阶段的骨骼特征。

古德温解释说，三角龙的头骨各有不同。举例来说，如果把所有三角龙的头骨摆放在一同个地方，那我们就能看到每个头骨都具有独特的头饰形状和角的弯曲形式。这些差异哄骗了古生物学家许多年，比如不同的机构命名了 12 个不同的三角龙种。不过，在 20 世纪八九十年代，古生物学家发现其中多个种都属于无效名。[10]大部分解剖学上的不同都源自个体差异和发育中出现的变化。最后只有两个三角龙种存留至今：最初由马什命名的恐怖三角龙和优美三角龙。三角龙在成长过程中会改头换面，而古德温办公室里的婴儿头骨再次向我揭示了这种变化何其惊人。

古德温绕过办公桌来到靠我身后墙壁摆放的白色金属抽屉前。当他轻轻拉出一个架子时，我还不太明白自己看到的是什么。泡沫包围着的箱子中装有各种各样的深色骨骼，很多明显是用破碎的样品精心拼凑而成的。但中间的三块大碎片给了我辨识它们的线索。左右两块略微弯曲的长长的碎片是小头饰的两边，而中间那块构成了装饰结构的中线。它们是楼上复原的三角龙头骨的原始骨头碎片。

没能一眼认出端坐在面前的三角龙宝宝让我有些尴尬。但我不是唯一一个少点眼力见的人。古德温说，人们一开始以为这些骨头属于肿头龙——这种长有厚头骨的两足恐龙也生活在差不多同一时期的北美。直到 2006 年，古德温及其同事才发现这些碎片的真正归属。[11]我想拿起一片顶骨——这块骨头组成了头饰的中间部分，上面还长有箭头状的小型装饰结构。但我把这个要求咽了回去，在做过把重要标本失手摔到地上的噩梦之后，还是别碰已经安息的恐龙为妙。

在我鼓起勇气问出口之前，古德温又带我回到了图书馆。他希望我能看看真正的三角龙头骨的某种东西。较大的那个头骨虽然尺寸不小而且解剖结构看起来已经成熟，但依然显示出了改变的征象。头饰就是线索。古德温指出，虽然头饰依然处于实心状态，但中脊两边已经出现了两个凹痕。如果斯坎内拉和霍纳的观点没错，那么它们就是在头饰上变薄并形成牛角龙头骨上那种孔洞的部位。该部位的骨骼被迅速吸收并重塑成完全不一样的外观。

这种晚期转变相当奇怪。根据伯克利分校研究生莎拉·韦宁和安德鲁·李的研究，恐龙很早就会开始繁殖。要是果真如此，那么它们为什么要在生命后期长出仿佛高喊着“快看我啊!”的华丽装饰？这种特征可能用于表明性成熟和支配地位，那么为什么没有早点出现？我向古德温询问有没有现生动物也会在生命后期经历这种装饰结构变化。“犀鸟类和食火鸡”，他的答案是具有醒目头冠的鸟类。或许三角龙也和它们一样，具有在一生中不断改变的装饰结构。

实际上，还有一种恐龙可能也为三角龙会不断变化这一观点提供了证据，它收藏于另一家博物馆。[12]史密森尼国家自然史博物馆的玻璃陈列柜里展示着一具神秘的双角龙头骨。它和三角龙多少有些相像，但具有几个非常重要的差异。这个头骨没有鼻角，头饰上有好几个孔洞，包括一块顶骨上的圆弧状小孔。古生物学家经常将这些特征视为

病理表现或将这种恐龙和同时期恐龙区分开的独特特征。但根据斯坎内拉和霍纳的观点，部分此类特征表明头骨发生了重大改变。比如顶骨上的孔洞可能只是较年轻三角龙的实心头饰向较年长同类的有孔洞头饰转变的过渡阶段。

如果斯坎内拉和霍纳所言不虚，那么伯克利分校的三角龙和史密森尼博物馆的双角龙便具有非常关键的意义，因为它们展示了经典的三角龙头骨如何转变成我们之前所谓牛角龙的头骨。在 2010 年的那篇论文中，斯坎内拉和霍纳总结道，这些恐龙不只是在从出生到开始繁殖的这段时期发生改变，而是几乎终其一生都在不断变化。

一些多愁善感的新闻报道曲解了这些发现。尽管斯坎内拉和霍纳明确指出，牛角龙和双角龙将成为历史，而原来叫这两个名字的标本现在将被称为三角龙，但一些被搞混了的记者还是得出了截然相反的结论。恐龙的名字游戏让他们忽视了斯坎内拉和霍纳的主要结论，而一切混乱源自修改后的生长序列。由于牛角龙代表了这种恐龙完全成熟的形态，最大的三角龙样本则代表了年轻些的阶段，于是一些记者就设想，三角龙之名要就此消失，而代之以成年形态恐龙的名字。Gizmodo 网站就刊文哀悼《三角龙从未曾存在》，从《CBS 新闻》节目到《旧金山纪事报》等各大媒体也纷纷附和。

这场所谓的经典恐龙之死甚至成了全国公共广播电台（NPR）的每周智力问答秀“等等，等等，先别说”里的一道谜题。（“我的第三只角一定会消失——我发誓它会掉。另外两只是一对，害羞表现爱失常。这头恐龙不可怕，我其实普通又平凡。世上并没有这么一个东西叫作……”“三角龙。”主持人卡尔调笑着说。[13]）三角龙的粉丝们自然怒不可遏。脸书上的“拯救三角龙”小组嚷嚷着不得要领的抗议。几十家网站上的评论也都充斥着键盘恐龙专家的抱怨，他们不能让科学家夺走自己的童年记忆。我最喜欢的一声抗议是一件 T 恤，上面画

着三角龙和曾经的行星冥王星。他们高呼三角龙是经典恐龙，也是咱们小时候最先认识的恐龙之一。对很多珍爱恐龙的人来说，这无疑又是一场“雷龙”事件。

满心忧虑的恐龙粉丝最后终于明白了过来，三角龙不会离他们而去。正如斯坎内拉和霍纳指出的，三角龙得名在先，因而在科学上优先于牛角龙。该担心的牛角龙粉丝（包括我）。（基本上没人关心双角龙。）

当然，提出一种新观点并不意味着其他科学家必须同意该观点。斯坎内拉和霍纳的论文只是根据现有数据做出的假设，并非板上钉钉的事实。角龙类专家安德鲁·法尔克就提出了质疑。他指出，足以证明具有实心头饰的三角龙头骨将向牛角龙头骨转变的变化尚未被发现。除了神秘的双角龙，古生物学家还没能找到其他表明三角龙如何变化为牛角龙的关键性头骨。此外，法尔克注意到，耶鲁皮博迪博物馆里的一具牛角龙标本可能是这种恐龙的幼体。[14]如果该头骨的确属于幼年或亚成年牛角龙，那便证明牛角龙必定是一种不同于三角龙的独特而稀少的物种。

有关三角龙的争论才刚刚开始，而这也是研究恐龙生长过程的新动向的一部分。在过去数十年里，人们常常将处于以前未知的发育和衰老阶段的恐龙视为新物种。而随着我们逐渐开始认识到，恐龙在其生命周期中可以发生多么剧烈的变化，恐龙分类学家不得不修正前言，将许多原来以为的新物种归入到其他种类中，而成为其更成熟或更年轻的形态。

毫无疑问，“雷龙”在失去头衔的恐龙中是最著名的一种，不过其他许多恐龙也遭此命运。比如当彼得·多德森在1975年对有头冠鸭嘴龙的多样性进行研究后，他发现“原鹅龙”其实是另一种鸭嘴龙类的幼体。[15]成年龙的特征——尤其是华丽的头冠——在幼体中尚未发育

完全。他意识到是发育导致了解剖学上的差异，而不是物种的不同。同样的事情也发生在“短角龙”身上，它们是其他角龙（比如刺丛龙）的幼体，成年后体型则会大得多。[16]重新研究过很多小型恐龙的解剖结构之后，古生物学家发现一些曾被我们视为小型物种的恐龙实际上是较大恐龙的幼年形态。

近年来，古生物学家开始寻求恐龙骨骼内部的新证据来研究恐龙的成长过程。研究者可以通过检验特定的骨骼是否融合来估计恐龙所处的生命阶段。很多骨骼化石中的暗带有助于确定它们死亡时的年龄。这些显著的条带组织形成于生长速度减缓的时期，通常是食物稀少的严酷冬季或旱季。这种特征可以让古生物学家大致推断出恐龙的年龄。类似地，研究条带间的组织有助于确定恐龙死亡时是仍在快速生长，还是由于发育成熟而放慢了生长速度。恐龙骨骼的显微结构可以提供很多有关恐龙生长的线索，而通过这些线索，古生物学家发现三角龙不是唯一会经历剧变的恐龙。

在三角龙之争爆发的数年前，古德温和霍纳就提出两种长有尖刺的圆顶恐龙（龙王龙和冥河龙）是肿头龙的幼体。这三种恐龙都在生活在同一时期的同一片栖息地中，还有证据表明幼龙头骨上的尖刺会在成长过程中被吸收成为天灵盖上的厚厚圆顶。三种不同的恐龙眨眼间就在生命史上合并成了一种。类似地，蒙大拿州的上白垩统地层和周边地区里保存着很多埃德蒙顿龙（喙部似铲子的鸭嘴龙类），我们曾经认为它们和更大的鸭嘴龙（被恰如其分地称为大鸭龙）生活在一起。但根据尼古拉斯・坎皮奥内和戴维・埃文斯的观点，大鸭龙是更加庞大和成熟的埃德蒙顿龙。[17]

有关恐龙生长发育的争论不断发酵，就连龙中暴君也被牵扯了进来。1946 年，查尔斯・吉尔摩描述了一种发现于蒙大拿州的古怪暴龙。[18]

它的头骨很小，横截面长而矮。吉尔摩认为自己发现了蛇发女怪龙——这类暴龙比君王暴龙体型稍小，也更为灵活——的新种。他将这种恐龙命名为兰卡蛇发女怪龙。然而40年后，古生物学家提出这个头骨其实代表了一种“矮个子暴龙”，它们与更著名的亲眷在同一片栖息地里奔跑。依据吉尔摩发现的头骨，他们把这种恐龙改名了矮暴龙。这一改动激起了有关暴龙在成长中到底会发生多大变化的论战。

和三角龙一样，古生物学家经常把亚成年暴龙类——它们有着修长的腿部，而且头骨较短浅，没有成年龙的碎骨能力——错认为别的种或属。[19]除了矮暴龙，古生物学家还依据小型（且常常不完整的）标本至少命名了四种不同的小型暴龙，包括最近发表的盗暴龙。而所有这些名称都被废弃了。正如托马斯·卡尔和其他专家发现的，部分最晚期的暴龙类在较早生长阶段中通常具有长而矮的头骨，略微类似



年轻的恐龙和父母不太相像。这具幼年君王暴龙的复原标本陈列于洛杉矶自然史博物馆，它向我们展示了小暴龙在成长中会发生多么巨大的变化。（照片由作者拍摄）

早期的暴龙类。[20]不过随着成长，它们的头骨会逐渐变深，牙齿的数目会发生变化，形态也从刀刃状变成了可以咬碎骨头的道钉形状。卡尔说，“有些人看到暴龙就脑子短路”，将亚成年暴龙类的特征误当作新物种的征象，而我们对暴龙类那无边无际的爱让我们疏于区分发育导致的不同与物种导致的不同，这样才好多送出几顶暴龙类新物种的桂冠。目前来看，白垩纪末期的北美只有一种暴龙类，也就是我们忠诚的老朋友——君王暴龙。

大部分最具争议的形态变化案例都发生于地狱溪组的恐龙，这我一直觉得非常有趣。三角龙、埃德蒙顿龙、肿头龙和暴龙都是最后的非鸟恐龙。这个事实对白垩纪末期大灭绝真正的严重程度产生了影响。如果三角龙、牛角龙、龙王龙、冥河龙、肿头龙、埃德蒙顿龙、大鸭龙、矮暴龙和暴龙都同时存在，那么恐龙在大灭绝之前还保持着它们的多样性。但如果这些新的生长序列理论属实，那么多样性就得骤减一半，晚白垩世也变得有些寂寥。

到目前为止，我们的重新检视在北美晚白垩世恐龙身上最为深入，但同样道理适用于所有恐龙。既然我们对恐龙可能会发生多大变化有了更好的概念，我们也就能更敏锐地在野外和博物馆藏品里分辨出幼年的恐龙。我们对恐龙的筑巢和成长方式燃起的新热情，不仅仅限于描绘它们的生命轨迹。恐龙如何孵化？它们破壳而出之后会发生什么变化？对这些问题的回答要涉及恐龙生物学的方方面面，从它们的社会行为到它们的生理学，不一而足。事实上，恐龙成长的方式也对回答古生物学中最神秘的问题之一有重要意义——像迷惑龙这样的恐龙如何长得如此庞大？

# 注释

[1] Mark Norell et al., “A Theropod Dinosaur Embryo and the Affinities of the Flaming Cliffs Dinosaur Eggs,” *Science* 266, no. 5186 (1994): 779–782, doi: 10.1126/science.266.5186.779.

[2] R. R. Reisz, et al., “Embryonic Skeletal Anatomy of the Sauropodomorph Dinosaur *Massospondylus* from the Lower Jurassic of South Africa,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 30, no. 6 (2010): 1653–1665, doi: 10.1080/02724634.2010.521604.

[3] R. R. Reisz et al., “Oldest Known Dinosaurian Nesting Site and Reproductive Biology of the Early Jurassic Sauropodomorph *Massospondylus*,” *PNAS* 109, no. 2 (2012): 2428–2433, doi: 10.1073/pnas.1109385109.

[4] Lucas Fiorelli et al., “The Geology and Palaeoecology of the Newly Discovered Cretaceous Neosauropod Hydrothermal Nesting Site in Sanagasta (Los Llanos Formation), La Rioja, Northwest Argentina,” *Cretaceous Research* 36 (2011): 94–117, dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2011.12.002.

[5] David J. Varricchio, Anthony J. Martin, and Yoshihiro Katsura, “First Trace and Body Fossil Evidence of a Burrowing, Denning Dinosaur,” *Proceedings of the Royal Society B,* 274, no. 1616 (2007): 1361–1368, doi: 10.1098/rspb.2006.0443.

[6] David J. Varricchio, “A Distinct Dinosaur Life History?” *Historical Biology* 23, no. 1 (2010): 91–107, doi: 10.1080/08912963.2010.500379.000.

[7] John B. Scannella and John R. Horner, “*Torosaurus* Marsh, 1891, is *Triceratops* Marsh, 1889 (Ceratopsidae: Chasmosaurinae): Synonymy Through Ontogeny,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 30, no. 4 (2010):1157–1168, dx.doi.org/10.1080/02724634.2010.483632.

[8] Kenneth Carpenter, “‘*Bison*’ *alticornis* and O. C. Marsh’s Early Views on Ceratopsians,” in *Horns and Beaks: Ceratopsian and Ornithopod Dinosaurs*, ed., K. Carpenter (Bloomington: Indiana University Press. 2007), 349.

[9] John R. Horner and Mark B. Goodwin, “Major Cranial Changes During *Triceratops* Ontogeny,” *Proceedings of the Royal Society B* 273, no. 1602 (2006): 2757–2761, doi: 10.1098/rspb.2006.3643.

[10] Catherine A. Forster, “Species Resolution in *Triceratops*: Cladistic and Morphometric Approaches,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 16, no. 2 (1996): 259–270; John H. Ostrom and Peter Wellnhofer, “The Munich Specimen of *Triceratops* with a Revision of the Genus,” *Zitteliana* 14 (1986): 111–158.

[11] Mark B. Goodwin et al., “The Smallest Known *Triceratops* Skull: New Observations on Ceratopsid Cranial Anatomy and Ontogeny,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 26, no. 1 (2006): 103–112.

[12] John B. Scannella and John R. Horner, “‘Nedoceratops’: An Example of a Transitional Morphology,” *PLoS ONE* 6, no. 12 (2011): e28705, doi: 10.1371/journal.pone.0028705.

[13] Limericks, *Wait Wait…Don’t Tell Me!*, NPR, August 7, 2010, www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=129039425.

[14] Andrew A. Farke, “Anatomy and Taxonomic Status of the Chasmosaurine Ceratopsid *Nedoceratops hatcheri* from the Upper Cretaceous Lance Formation of Wyoming, U.S.A,” *PLoS ONE* 6, no. 1 (2011): e16196, doi: 10.1371/journal.pone.0016196; Nicholas R. Longrich and Daniel J. Field, “Torosaurus Is Not Triceratops: Ontogeny in Chasmosaurine Ceratopsids as a Case Study in Dinosaur Taxonomy,” *PLoS ONE* 7, no. 2 (2012): e32623, doi: 10.1371/journal.pone.0032623.

[15] Peter Dodson, “Taxonomic Implications of Relative Growth in Lambeosaurine Hadrosaurs,” *Systematic Zoology* 24, no. 1 (1975): 37–54, www.jstor.org/stable/2412696.

[16] Charles W. Gilmore, “*Brachyceratops*, a Ceratopsian Dinosaur from the Two Medicine Formation of Montana, with Notes on Associated Fossil Reptiles,” *United States Geological Survey Professional Paper* 103 (1917): 1–45; Andrew T. McDonald, “A Subadult Specimen of *Rubeosaurus ovatus* (Dinosauria: Ceratopsidae), with Observations on Other Ceratopsids from the Two Medicine Formation,” *PLoS ONE* 6, no. 8 (2011): e22710, doi: 10.1371/journal.pone.0022710.

[17] Nicolás Campione and David Evans, “Cranial Growth and Variation in Edmontosaurs (Dinosauria: Hadrosauridae): Implications for Latest Cretaceous Megaherbivore Diversity in North America,” *PLoS ONE* 6, no. 9 (2011): e25186, doi: 10.1371/journal.pone.0025186.

[18] C. W. Gilmore, “A New Carnivorous Dinosaur from the Lance Formation of Montana,” *Smithsonian Miscellaneous Collections* 106 (1946): 1–19.

[19] Takanobu Tsuihiji et al., “Cranial Osteology of a Juvenile Specimen of *Tarbosaurus bataar* (Theropoda, Tyrannosauridae) from the Nemegt Formation (Upper Cretaceous) of Bugin Tsav, Mongolia,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 31, no. 3 (2011): 497–517.

[20] Thomas Carr, “Craniofacial Ontogeny in Tyrannosauridae (Dinosauria, Coelurosauria),” *Journal of Vertebrate Paleontology* 19, no. 3 (1999): 497–520, www.jstor.org/stable/4524012; T. D. Carr and Thomas E. Williamson, “Diversity of late Maastrichtian Tyrannosauridae (Dinosauria: Theropoda) from Western North America,” *Zoological Journal of the Linnean Society* 142, no. 4 (2004): 479–523; Lawrence M. Witmer and Ryan C. Ridgely, “The Cleveland Tyrannosaur Skull (Nanotyrannus or Tyrannosaurus): New Findings Based on CT Scanning, with Special Reference to the Braincase,” *Kirtlandia* 57 (2010): 61–81; Denver W. Fowler et al., “Reanalysis of ‘*Raptorex kriegsteini*’: A Juvenile Tyrannosaurid Dinosaur from Mongolia,” *PLoS One* 6, no. 6 (2011): e21376, doi: 10.1371/journal.pone.0021376.

# 第五章
# 侏罗纪的轰隆声

自打小时候在美国自然史博物馆的化石展厅里蹒跚起，我就一直想去他们的恐龙仓库瞧瞧。复原出来的骨架当然不错——这里保存着一些最精致的恐龙化石——但我还想要更多。我渴望从未出现在公众眼前的诸多恐龙。骨头越大越好！

公众展厅是恐龙复活之地。骨骼、玻璃纤维和石膏在精心制作的金属骨架上复原出了那些中生代名流，它们在粉丝面前摆出了各种姿势。但没有哪个博物馆拥有足够场地以展示其所有化石藏品，或哪怕其中最吸引人的。如果博物馆要亮出全部化石藏品，那参观者就得先跋涉过一排排哺乳动物的牙齿、龟壳和骨骼化石碎片，然后才能看到少数几头完整得可以考虑复原的恐龙。更不用说，装配好的骨架难以被用于研究恐龙那错综复杂的解剖结构。所以如果想要钻研恐龙生命的秘密，首先就得让古生物学家能够轻松接触到博物馆密室里那日益增加的化石。展厅里展示着古生物学家的研究成果，但堆满化石的长排金属架和塞满精细样本的抽屉才是我们对史前生命的大多数认知的来源。

我终于在 2011 年一个清爽的三月傍晚实现了自己的梦想。当时美国自然史博物馆正在筹备《世界上最大的恐龙》展览，还邀请了我这样的博客和推特控来提前试看。我身处从宾州车站开往博物馆的地铁，

但心已经飞向了博物馆。除了试看，展方还答应带我们参观博物馆的化石储藏室。在等待 20 年之后，我终于可以目瞪口呆地漫步于博物馆那珍贵的恐龙仓库之中。

一到达四楼的蜥臀类展厅接待处，我就赶紧在第一批藏品参观安排上签上了名字。蛇发女怪龙和迷惑龙一定会理解我，周末下午花在展馆里的漫长时光已经让我们成为了老朋友，而去拜见它们未组装同伴的机会可是非常难得。速速搭乘电梯来到博物馆宽广的地下室之后，我们的参观团见到了高级科研助理卡尔・梅林（Carl Mehling）。虽然我弯腰凑近一具漂亮的窃蛋龙完整骨架让他有些紧张，但他依然和颜悦色。窃蛋龙像母鸡一样坐在巢上孵蛋，而我想仔细看看它的如愿骨。这具华丽的骨架（共两具，这是其中之一）来自蒙古的白垩系岩层。它们奶油色的骨架突出在周围锈橙色的岩石中。

不过储藏室的大部分空间都属于蜥脚类恐龙。它们被单独分门别类，安卧在泡沫床上。椎骨一长串一长串地搁置于货架，仿佛博物馆在做一个“看看一个房间里可以塞进多少蜥脚类恐龙”的游戏。这里是古生物学的俄罗斯方块游乐场，每块骨头都是演化的丰碑。有个架子上放着一块重龙的颈椎骨，这种巨型恐龙体长超过 24 米，极为修长。与我自己脖子里的短骨头相比，这块恐龙骨骼堪称自然杰作，它完美地与恐龙那修长的中轴骨融为一体，而中轴骨上气腔纵横交错，还有短骨片点缀其间。

我在随意翻看下层货架的时候甚至还遇到了一位老朋友。博物馆那过时的“雷龙”头骨被淹没在杂七杂八的骨骼和铸模里。我在多年前曾见过一个傻乎乎的小头骨悬挂在看似遥不可及的高处，而眼前这个就是它的复制品。模型上一张尘灰满面的旧卡片写着它是“伟大的两栖恐龙”的头骨，由制备专家亚当・赫尔曼（Adam Hermann）于一个世纪前制作。虽然这姑娘已经离开了展品的行列，但我还是很高兴

与她重逢。

但还有一段恐龙历史也让我牵肠挂肚。古生物学家发现了很多蜥脚类恐龙，而其中的巨型恐龙之最据称就收藏在美国自然史博物馆里。要是我认为梅林能帮得上忙的话，我恐怕就开口了，但事实上，我追寻的化石——易碎双腔龙——早在赫尔曼制作“雷龙”头骨的时候就不知所终了。这种恐龙可能是地球上有史以来最巨大的生物。

如果双腔龙确实隐藏在这些拥挤积尘的架子上，那它恐怕也难以辨识。它可能已经碎成了一堆一米多高的零散骨头。这具失落多年的化石和迷惑龙以及三角龙一样，都是骨头大战的成果，不过它属于爱德华·德林克·科普。和很多发现于 19 世纪的恐龙一样，双腔龙的历史也非常复杂。

在骨头大战正值高潮的 1878 年，科普宣布自己发现了一种极为庞大的恐龙，并在一篇四页短文《论双腔龙，一种来自科罗拉多州达科塔世的蜥蜴》中进行了详细描述。这篇短文向我们完美展示了古生物学家从残骸断片中创造新恐龙的速度何其迅猛。科普认为，根据寥寥几块骨头（包括一根股骨、几块尾椎骨和部分腰带）就能将双腔龙分成两个种，高双腔龙（*A. altus*）和侧双腔龙（*A. latus*），这两个名字简直是阅读困难者的噩梦。这两个种都类似于之前发现的迷惑龙等蜥脚类恐龙，但要大得多。被科普归为高双腔龙的股骨将近两米长。它们无疑是巨型恐龙中的佼佼者。

另一具双腔龙标本还要更大一些。科普在同年八月发表的通讯中写道：“我那工作起来不分昼夜的朋友，O. W. 卢卡斯先生最近给我寄来了一个几近完整的椎弓，它属于我所见过的最巨大的蜥蜴。”这只是块碎片——椎骨最上方的部分，曾经连接在圆形的椎体上——但它是块巨大的碎片。科普认为，这块骨头应该位于双腔龙的一种新种——

易碎双腔龙——的脊柱中间。他大胆推测，完整骨骼至少有 1.8 米长。依据其他恐龙做出的粗略计算让他相信这种动物的股骨应该超过 3.6 米。没有哪种恐龙的体型能更胜一筹。这块不完整的椎骨类似于深海鱼类的椎骨，科普依据这一点和一点点推测得出了“这种动物可能在深水中跋涉，在险峻的海岸上采食树叶”的结论。虽然证据零碎得让人沮丧，但这已经足以让科普在他和马什的战争中宣称自己发现了最大的恐龙。马什在 1879 年迅速描述了巨大的梁龙和“雷龙”，但它们的大小也完全不能与易碎双腔龙相比。

如果科普的观点成立，那么事实上，易碎双腔龙就是最庞大的恐龙。(高双腔龙和侧双腔龙的骨头后来被证明其实都是梁龙骨头，所以古生物学家只承认易碎双腔龙一种。)根据迷惑龙和重龙等恐龙的身体比例，古生物学家肯尼思·卡彭特（Kenneth Carpenter）估计易碎双腔龙全长惊人，可达 58 米，几乎比排名第二的最长史前恐龙竞争者长了一倍。如果你从恐龙的鼻子开始信步走向长鞭一样的尾部，那要花半分多钟才能到达尾巴尖。

但唯一能证明这种恐龙存在的证据已消失多年。科普于 1897 年过世后，他收集的很多化石都由美国自然史博物馆的亨利·费尔菲尔德·奥斯本获得(他是科普的学生和朋友)。奥斯本及其同事查尔斯·穆克（Charles Mook）在 1921 年筛选了科普的藏品，以便重新分析一些过去的发现，但他们并未发现双腔龙。骨骼可能遗失在了货架的某个地方，也可能是遭到了破坏，又或者是在保存技术尚不发达的年代里碎成了无法挽救的碎片。谁知道呢？在勘探美国西部侏罗系恶地的 130 年里，再也没有化石猎人找到过其他双腔龙标本。就算把化石的最初发现地翻了个底朝天也一无所获。卡彭特在 1994 年试图重新定位双腔龙的发现地，但那里已经没有恐龙的蛛丝马迹。大部分骨架甚至可能在卢卡斯于 1877 年发现骨床的时候就已经侵蚀殆尽——那块椎

弓是这种史前巨兽仅存的遗物。如此巨大的恐龙怎么会消失得如此彻底呢？

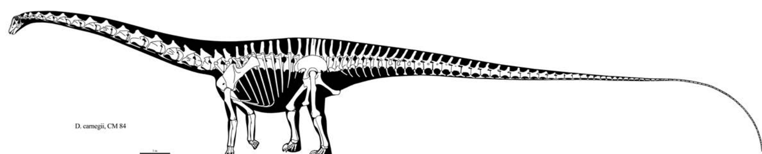
同样的问题也适用于其他巨型恐龙。我们拥有的蜥脚类恐龙遗物少得可怜，这使得到底谁才是最大恐龙的问题极难解决。所以毫不奇怪，一系列大型恐龙都想夺得最大恐龙的头衔。

在我听说双腔龙之前，我被告知长 24 米、重 20 吨的腕龙是最大的恐龙。[1] TIME-LIFE 的小读者自然科学丛书告诉我，这种恐龙是如此巨大，它们必定只能生活在侏罗纪湖泊的深水里。后来我才知道，腕龙和它们的亲眷都是陆生动物——遍布骨骼的气囊让它们的体重相对身体大小来说轻得不可思议，而且如果站在齐鼻深的水里，它们会因为胸腔受压而死。所以虽然看起来不太可能，但蜥脚类恐龙都拖着庞大的身躯漫步在陆地上。

从老旧的书本知道腕龙后不久，我又听说三种刚发现的蜥脚类恐龙把腕龙赶下了最巨大恐龙的宝座。其中两种在犹他州利哈伊的古生物博物馆里展出。从盐湖城往南驱车 20 分钟就能达到这座以庞大的恐龙铸模收藏为傲的博物馆。这里的铸模骨架身处奇异的复原环境。鳄鱼骨架正在撕吃倒地的剑龙，一对暴龙在死去的猎物上面互相咆哮。这些骨架展品并非只是在摆个造型——它们仿佛随时都会从底座上冲下来吞食访客，就像在那些直接以 DVD 发行的恐怖电影里一样。不过也不是所有展品都在表现中生代的死神。其他恐龙还只是在粉丝面前简单摆个造型，而其中最大的是第一恐龙厅里的两只蜥脚类恐龙。耸立在通往下一个展厅的拱门前的是曾被称为极龙的恐龙。杨百翰大学的古生物学家詹姆斯·詹森（James Jensen）于 20 世纪 70 年代晚期在科罗拉多州的干燥台地挖掘出了它的几块骨头。这种蜥脚类恐龙在还没得到正确描述之前就被称为最大的恐龙。我在三年级时观看了沃尔特·克朗凯特（Walter Cronkite）主持的纪录片《恐龙！》，这片子用

了些粗糙的特效来表现杨百翰大学露天足球场里的极龙，还用四散奔逃的啦啦队作为体型对比。只需看一下博物馆里的化石，你就不会怀疑其主人确实十分巨大。骨架复制品脚下有一块复原的肩胛骨，当年就是它促使詹森作出了如此大胆推断；这块布满裂缝的骨骼跟詹森本人一样高。在远处的墙边放着的则是詹森在干燥台地的另一个发现：一具 30 米长的超龙的骨架。这种巨型恐龙，类似于生长过度的梁龙，几乎和整个展览场地一样长。

古生物学家戴维·吉勒特（David Gillette）在 1991 年发现了另一个竞争者：修长的蜥脚类恐龙，据说它从鼻子到尾巴尖的长度超过 51 米。这种恐龙被称为地震龙。我特别喜欢让这家伙及其对手的名字在舌尖滚动。极龙、超龙、地震龙，它们的发音带来了浑厚的共鸣，仿佛预示着巨型恐龙的到来。但存留至今的只有超龙。这三种依据骨骼碎片命名的恐龙有着错综复杂的分类学历史，这最好还是留给技术期刊讨论，这里就不展开了。不管怎样，展开竞争的三种恐龙最后只剩下了一种。巨大的“极龙”肩胛骨属于腕龙，而它并没有詹森想象得那么庞大。吉勒特的地震龙其实是巨大的梁龙，差不多有 33 米长（这类恐龙典型的长尾巴让它占了不少便宜）。只有超龙在知识修正和术语变迁之中生存了下来。




卡内基梁龙的复原骨架。这头 24 米长的大家伙属于最庞大的恐龙，不过还有几种更大的巨型恐龙。（斯科特·哈特曼绘）

但问题在于，我们不清楚最巨大的恐龙到底能长到多大。超龙和吉勒特发现的庞大梁龙是最有力的竞争者，但目前没人知道它们真正的大小。就连最常被古生物学家称为恐龙之最的约 30 米长的阿根廷龙也只有一副不完整的骨架。为大部分巨型恐龙计算大小时，古生物学家只能依据它们更为人熟悉的亲属进行推测。最巨大的恐龙都是根据极为零碎的化石命名的。它们缺乏完整的骨骼倒也并不奇怪。沉积物可以轻松迅速地覆盖纤细的小型恐龙，一点饱和的淤泥或湿砂即可造就化石。但长 30 米、重 60 多吨的巨型恐龙则是另一回事了。局部洪水或其他自然灾害才能带来能够掩埋大型恐龙的大量沉积物，更别提必然不会放过这场葬礼的腐食动物会造成什么破坏。（一只巨型恐龙的死会让大量肉食动物过上丰裕的生活。）很多巨大的蜥脚类恐龙都没能留下化石，而在留下化石的当中，也很少恰好死于适合保存高质量化石的环境。如果超龙、阿根廷龙，甚至双腔龙确实留下过几乎完整的化石，那它们也还没有重见天日。

整体上看，所有最大型恐龙的体长似乎都在 30 米左右，或者再稍长一些。（只有双腔龙的估计体长要大得多。）这么多最大型的恐龙都具有相近的体型，那这可能就代表着恐龙在压垮自己之前能够承受的临界大小。

并不是所有蜥脚类恐龙都硕大无朋。实际上，大部分种类都没有达到 30 米的上限。一些隔绝在史前岛屿上的种群只有 6 米左右。蜥脚类恐龙的分类标准并不是体型，而是解剖结构。并且这些家伙都非常古怪。随着古生物学家发现得越来越多，科普、马什和其他早期研究者发现的恐龙似乎已经显得相当平淡无奇，但我还是认为，这些蜥脚类恐龙属于最奇异的恐龙之列。

考虑一下迷惑龙。这种身躯魁伟的植食类恐龙（几乎所有听过“恐龙”的人都耳熟能详），可能看上去并无特别之处。缺少了尖刺、角、

甲板、头冠和其他古怪的装饰结构，这种优雅的蜥脚类恐龙在我们看来可能不像甲龙那样奇异,或像具有羽毛和杀手爪的恐爪龙那样不凡。但我们对它们的熟悉让我们忘记了自己对它们的自然史其实知之甚少。蜥脚类恐龙的迷人之处不仅在于其体型庞大，还在于它们在如此多方面似乎都是那么不可能。差不多蜥脚类恐龙生物学的一切都是谜团，尤其是它们那个最为独特的特征。

蜥脚类恐龙的脖子是演化史上一座座滑稽的丰碑。这些恐龙能从高处采食树叶，也能在覆盖蕨类植物的热带稀树草原上摆动脑袋、大口大口地胡吃海塞。（这肯定会让长颈鹿嫉妒不已。）这些长脖子优雅地证明了演化的随机性，同时也驳斥了上帝智能设计有机体的观点。正如马特・韦德尔在一篇最近发表的蜥脚类恐龙论文中所说，它们的脖子是一个绝佳的“低效率实例”。[2]

演化的结果不一定是所有可能中最好的。正如斯蒂芬・杰伊・古尔德在他著名的熊猫“拇指”（用于抓握竹子的改进腕骨）论文里所说：“古怪的结构和滑稽的解决方案都是演化的证据。有些路径是有理智的上帝绝不会做出的选择，却是受历史制约的自然过程不可避免的结果。”[3]蜥脚类恐龙的喉返神经则是走弯路的解剖解决方案的又一个精彩例子。这条曲折的神经不是大型恐龙的专利，所有四足脊椎动物都从共同祖先身上继承了这一特征。

3.75 亿年前，扁平的提塔利克鱼之类的生物为将来出现的种类繁多的四足动物打下了基础。从早期两栖动物到恐龙，再到蛇和鲸之类第二次失去肢体的动物，四足动物的种类多不胜数，而它们都具有喉返神经。这条神经从脑部出发，经由颈部进入胸腔，并绕过主动脉弓再返回喉部，让喉头可以做出感觉和运动反应。一开始，在泥盆纪的淤泥里挪动身体的四足鱼类中，头和心脏离得很近。但随着四足动物的繁盛和长脖子种类的演化，这条神经开始拉长，以便保持脑部和喉

咙的连接，而绕路心脏周边使整条路径比必需的长度长了一倍。这对体型紧凑的生物来说不是问题，它们的脑部距离心脏不远，但在脖子极长的四足动物中就显得非常可笑。长颈鹿的脖子长 2.4 米，而喉返神经长约 4.8 米。这种愚蠢的设计正是演化的标志：已经存在的结构会被改变并整合进新的形态中。

蜥脚类恐龙具有最长的低效率神经路径。脖子越长，神经就得延伸得越远。蜥脚类恐龙无疑具有地球上最长的脖子。据韦德尔的计算，成年超龙的脖子估计有 14 米长，因此喉返神经达到 28 米，几乎和它们的身体等长。“超龙 28 米的喉返神经可能看起来很神奇，”韦德尔写道，“但结合四足动物的胚胎学和演化过程，这似乎是不可避免的。”

韦德尔也指出，蜥脚类恐龙非常有可能神经元也比较长。就想想它们尾巴末端负责把感觉信息传递到脑干的神经吧。最庞大的现生鲸类具有超过 27 米的神经元，而较之稍大一些的蜥脚类恐龙应该会拥有更长的神经元。当然，没人实际见到过这些神经元，但正如韦德尔设想的，这些奇长无比的神经元应该存在。超龙等恐龙的神经元可能是迄今为止最大的细胞，但这也给这些恐龙带来了一个问题。韦德尔指出，如果真的存在超过 49 米的双腔龙，那么即使以 100 米/秒速度传递的神经冲动也要零点几秒才能达到它们的脑部。虽然这并不意味着它们在被掠食者咬到尾巴时也毫无知觉，但它们对外界的反应肯定比较迟钝。正如韦德尔指出的，这可能是最巨大的恐龙已经达到了恐龙大型化上限的一个迹象。

和身体相比，蜥脚类恐龙的脑袋小得可笑。在我前往犹他州古生物学家詹姆斯·马德森（James Madsen）的旧宅拍卖会时，太太专门叮嘱我：“不准往家里带恐龙。”但我还是抵挡不了迷惑龙头骨等大复制品的诱惑。这个头骨模型属于 24 多米长的恐龙，但我在愉快地走向座驾时能舒服地把它抱在怀里。对迷惑龙这样巨大的动物来说，这是

颗小巧玲珑的脑袋。更糟糕的是，它还不擅长咀嚼。和其同时代的表亲梁龙以及其他蜥脚类恐龙一样，迷惑龙也只在方形的鼻口前方长着短短一排铅笔状牙齿。那它们该怎么获得足够的食物呢？我是演化论的公开粉丝，但有时候我也希望自然之谜别这么难解。

我们身为哺乳动物的偏见时常会妨碍着我们对恐龙的理解。我们是咀嚼者，因此觉得恐龙也和自己一样。但事实完全不是这样。恐龙会用颌部采摘、切割、撕碎或咬断食物，但之后就囫囵吞下。蜥脚类恐龙肯定特别擅长此道。迷惑龙未曾在侏罗纪的泛滥平原上像牛一样磨碎蕨类植物和针叶树的树枝。由于对餐桌礼仪的毫不讲究，蜥脚类能吞食大量多汁的绿色植物，以供生存。迷惑龙和体型相似的恐龙到底需要多少食物属于生理学研究的范畴，也是最难解释的恐龙谜题之一。

我第一次和恐龙邂逅的时候,恐龙文艺复兴仍在让它们重焕活力。电视上和图书馆书籍中乏味的中生代傻瓜逐渐被艳丽聪明的恐龙所取代。新的恐龙身手敏捷，看起来能在古代大地上做几个侧手翻。按照纪录片里的通俗说法，恐龙从典型的冷血爬行动物变成了空前绝后的温血造物。虽然古生物学家普遍同意恐龙远比之前想象的更为复杂，但他们还是为恐龙生物学的细节争得不可开交。

除非你是在谈论说言情小说，否则“温血”是个糟糕的词汇。它并没有提供关于一种动物的生物学的任何信息。基本恒定在 37 度的体温无疑给了我们温血动物的身份，但晒够了太阳的蜥蜴也能达到活跃的温血状态。一种动物的生理学特征并不等同于其体温。关键区别在于如何维持这个体温的不同生物学机制。对于恐龙来说，这意味我们需要研究它们是否通过内部手段来调节体温、它们是否维持着恒定温度，以及它们是否具有高低变化的代谢率。这三个方面勾勒出了一种生物的生理学特征，古生物学家也正致力于理解恐龙生物学的这些

细节。

我们没法依靠时间机器和温度计去直接测量恐龙的体温。不过这可能未尝不是好事。古生物学家埃德温 · 科尔伯特及其合作者在一项探究恐龙生理的试验里给美洲短吻鳄测量了体温。[4]他们可是费了九牛二虎之力。在爆发恐龙体温之争的 30 年前，科尔伯特及其同事来到佛罗里达州，为各种小型美洲短吻鳄测量泄殖腔温。由于短吻鳄都是冷血动物，它们只能依靠环境来调节体温。为了观察鳄类升温和散热的速度，他们把这些主龙类动物在日照处和阴凉处来回搬动，好得到用于计算较大恐龙升温所需时间的模型。研究者甚至制造了一些看起来挺像刑具的小木架，好让小短吻鳄们保持恐龙的站姿，以便明确这种姿势是否会带来差异。论文附图里描绘的箱子看起来就像责罚短吻鳄的十字架。

这项实验未能完全按照计划实施。两头短吻鳄死于日晒过久。看来即使是热爱阳光的主龙类也会因过热而死。而且升温和散热时间随短吻鳄的大小而变化，这倒是并不令人惊讶。和较大的短吻鳄相比，较小的短吻鳄的温度变化更快，这要归结于其体积更小。（小盘剩饭在炉子里很快就能热起来，而大块头的感恩节火鸡要几小时才能变热也是同样的道理。）试验结果没能解决任何恐龙谜题。当科尔伯特将恐龙的尺寸代入鳄鱼模型后，和迷惑龙一般大小的蜥脚类恐龙需要晒一整天太阳才能充分温暖起来。散热也依照同样的原理进行。如果迷惑龙遭遇过热，那它得经历痛苦的散热，而且可能会像小短吻鳄一样一命呜呼。依赖于日光浴的变温生活方式不太适合巨大的恐龙，而小型恐龙轻盈敏捷的身体似乎不需要升温时间。尽管古生物学家、艺术家和动画师依然认为蜥脚类恐龙需要温暖的池塘来维持生命，但越来越多的证据表明我们应该以全新的目光来看待恐龙。

在古生物学家能够真正理解蜥脚类恐龙及其各类亲属的生理机能

之前，恐龙的形象已然发生了改变。特别是古生物学家罗伯特·巴克指出，恐龙生长速度十分快速、具有直立站姿和活跃的生活方式、种群结构更类似于哺乳动物而非爬行动物，这些线索都表明恐龙能通过内部手段维持恒温。这些证据现在依然成立。而且这还不算完：很多恐龙都身披保温的羽毛，而繁盛于极地的种群必然要面对漫长的飘雪冬夜。我们了解得越多，恐龙具有内部机制以维持恒温一事就越明显。它们肯定不是迪士尼《幻想曲》里以及鲁道夫·察林格（Rudolph Zallinger）为耶鲁皮博迪博物馆绘制的壁画《爬行动物时代》中那些迟钝的冷血动物，后者只能生活在中生代闷热的永恒夏季之中。

甚至哺乳动物也能帮助研究者探寻恐龙的生理学奥秘。2012 年，一项关于哺乳动物骨骼的里程牌式研究表明，反刍动物（每只脚都偶数脚趾的有蹄类食草动物）的骨骼具有停止生长线。[5]这些线条代表着季节性的生长减速，而博物学家曾以为只有生理机能随周遭环境改变的变温动物，比如鳄鱼，才具有这种特征。恐龙也长有同样的线条，因此部分古生物学家曾认为恐龙更类似于爬行动物，而不是哺乳动物和鸟类。但新的研究驳斥了这种看法。正如古生物学家凯文·帕迪安在评论该研究时所说的，这个研究表明恐龙“一点也不像典型的爬行动物”。[6]现在我们知道，至少有些哺乳动物也会在生活轻松的日子里迅速生长，而在资源稀少的干旱或寒冷季节里减缓生长。

结合在一起，这些证据强有力地表明，恐龙是生长迅速的活跃生物，应该会需要高代谢率。斯蒂芬·布鲁萨特在回顾迄今为止的所有证据之后写道：“有一点似乎很明显：与现生爬行动物相比，恐龙的生理机能和代谢更类似于现生鸟类和哺乳动物。”[7]恐龙的生理机能还存在很多争议，但在 2.3 亿年的时光里，它们的生理机能必定已经变得极具适应性。

当然，各种恐龙的生理特征不能一概而论。恐龙的种类如此繁多，

差异如此之大（只需想象一下比如超龙、小毛球一样的中华龙鸟以及重甲披身的肯氏龙在体型和形态上的天差地别），并不亚于现生哺乳动物的多样性（比方说蝙蝠、海豚与大象）。蜥脚类恐龙是最令人费解的一种。小蜥脚类的成长速度惊人，而这意味着它们必然具有高度活跃的代谢，以及很有可能维持着高体温——但具有这种能力对于体型更大的恐龙来说则可能要付出一定的代价。

部分古生物学家认为，蜥脚类恐龙是巨温性动物的完美示例，即它们依靠巨大的体型而非代谢来维持体温基本恒定。取暖和散热对迷惑龙等级的恐龙来说都非常艰难。如果恐龙是只能保存热量而不能主动产生热量的变温动物，那么它们在陷入过热的危险之前就只有少许可供调整的生理余裕。这让一些研究者推测，蜥脚类恐龙是能够行走的巨大堆肥堆，靠肚子里植物的腐烂过程来获取热量。但这些理论依然将蜥脚类恐龙看作巨大的爬行动物，而非一种独特的生物。从恐龙骨骼上的印痕，我们知道它们具有沿脊柱分布的气穴，尤其是颈部。这类似于现生鸟类恐龙呼吸系统中分化出的气囊。这些充满空气的结构不仅让恐龙的骨骼更加轻盈，可能还会像鸟类的气囊一样具有空调功能，让蜥脚类恐龙能够在行动中应对过多的热量。

不可否认，蜥脚类恐龙的生理机能和生物学是一个变化迅速的研究领域。[8]但有一点非常明确：不管蜥脚类恐龙发生了什么演化，它们是成功者。这群动物并非侥幸在演化中站住脚跟，它们是脱胎于多次演化的真正巨型恐龙，并在顶峰时期里诞生了有史以来最巨大的脊椎动物。

在思考蜥脚类恐龙如何变得如此巨大的同时，我们也无法回避另一个同样困扰人的问题：为什么有些蜥脚类恐龙成为了巨兽？在过去许多年里，学界给出了各种解释：体型增大是为了对抗掠食者，中生代含氧更多的大气让恐龙的呼吸更有效率，或甚至地球当时的

重力较小，如此等等。但这些环境因素都经不起推敲。蜥脚类体型的真正秘密其实不无讽刺：它们会变得如此巨大，是因为它们有一个渺小的开端。

不同于《小脚板走天涯》和不太出名的《小恐龙历险记》里刻画的关爱孩子的恐龙父母，蜥脚类其实不会特别照顾哪个后代。事实上，小脚板的妈妈会有一大堆孩子，并且不会那么关爱它们。龙蛋和龙巢的化石表明，迷惑龙、超龙和阿根廷龙都会产下一大堆小小的恐龙蛋。

在参观完美国自然史博物馆举办的《世界上最大的恐龙》展览之后，我才知道蜥脚类幼龙到底有多小。恐龙内脏的巨大模型和真实比例的马门溪龙雕塑在展览上独领风骚，但在不那么引人注目的地方有一个蜥脚类龙巢的小模型。里面的恐龙蛋大概只有葡萄柚大小，而幼年蜥脚类恐龙可以蜷缩在我的手掌上。这些小小的恐龙只能给路过的兽脚类塞塞牙缝。它们也可能成为大蛇的美餐，比如在印度发现的化石里就有正在爬过蜥脚类筑巢地的古蟒蛇。

研究者发现，虽然蜥脚类从小小的体型发育而来，但它们身上不存在那些限制哺乳动物大小的生物学桎梏。这就是为什么现今世界里没有能和迷惑龙比肩的哺乳动物。在化石哺乳动物专家比约恩・库尔滕（Bjorn Kurten）的提示下，布朗大学的古生物学家克里斯蒂娜・贾妮斯和马修・卡拉诺在1990年研究了最巨大的恐龙与最健硕的陆生哺乳动物在生育方式上有何不同。[9]蜥脚类恐龙会产下很多较小的蛋，并只照顾相当短的时间（如果还会照顾的话）。而大象、长颈鹿和其他大型哺乳动物要花很长时间来孕育少数后代，通常只有一个。在出生后，需要母乳和关怀的哺乳动物幼崽会继续耗费母亲的能量。哺乳动物的这些繁殖特征（可能会发生各种意外的长期妊娠，以及需要继续投入大量能量照顾幼崽），使得哺乳动物要遭受恐龙未曾受到的限制。

2011年，动物学家简・维尔纳和伊娃・玛丽亚・格里贝尔勒重新

审视了贾妮斯和卡拉诺的观点。他们发现恐龙确实存在生殖优势。通过卵生和很早就离开快速生长的后代，恐龙不需要背负哺乳动物那样的能量消耗负担，从而具有了生物灵活性，使得它们能够达到陆生动物体型的极限。繁殖方式和生活史的差异或许解释了为什么会存在众多大型恐龙，而少有巨型恐龙级别的哺乳动物。无论长得多大，恐龙都可以频繁地大量产蛋,而大型哺乳动物每隔几年才能产下一个后代。这使得大型哺乳动物难以繁盛，并且不容易在种群遭受困境后快速恢复。如果亲代需要付出良多，那么缓慢的繁殖过程就是拥有巨大体型需要付出的代价。但对于恐龙来说，哪怕它们长得很大，它们也无需这种顾虑。快速的繁殖过程和不多的亲代投入并不意味着它们必定要长得巨大，但蜥脚类繁殖下一代的方式让巨型恐龙的出现有了可能。

不过，幼龙首先要存活下来才能长到震撼人心的尺寸。它们可能没法从父母那里得到太多照顾。来自筑巢地、鸟类和鳄类行为学的证据表明，恐龙父母会在一定程度上照料幼龙，但小家伙们一离巢就得靠自己过活，并与成年同类分居。

对此，头骨的形状是一条线索。国家恐龙化石保护区发现的幼年梁龙头骨具有和成年恐龙不同的口鼻部。[10]成熟梁龙的口鼻呈方形，以便采食低矮的植物，而幼龙的嘴部是适合食用树叶的圆形结构。幼年蜥脚类恐龙必须对食物多加挑剔，它们需要极具营养的特定植物来为急剧生长添柴加油。幼龙的需求、食物和生活习性也有别于成年恐龙。在过去几年里，古生物学家发现了仅由幼龙组成的骨床。从三角龙到蜥脚类的阿拉摩龙，幼龙似乎都会聚集在一起，直至加入繁殖群或开始独自生活。恐龙的生活史可能有不同阶段，决定了它们在什么时候选择谁作为伙伴。而它们社会生活的吉光片羽在岩石记录里保留了下来。

# 注释

[1] Elmer S. Riggs, "*Brachiosaurus altithorax*, the Largest Known Dinosaur," *American Journal of Science* (series 4) 15, no. 88 (1903): 299–306, doi: 10.2475/ajs.s4-15.88.299; Ruth E. Moore, *Evolution*, Young Readers Nature Library (Alexandria, VA: Time-Life Books, 1979), 94–95.

[2] Mathew J. Wedel, "A Monument of Inefficiency: The Presumed Course of the Recurrent Laryngeal Nerve in Sauropod Dinosaurs," *Acta Palaeontologica Polonica* 57, no. 2 (2012): 251–256, dx.doi.org/10.4202/app.2011.0019.

[3] Stephen J. Gould, "The Panda's Thumb," in *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History* (New York: W. W. Norton, 1982), 19.

[4] Edwin H. Colbert, Raymond B. Cowles, and Charles M. Bogert, "Temperature Tolerances in the American Alligator and Their Bearing on the Habits, Evolution, and Extinction of the Dinosaurs," *Bulletin of the American Museum of Natural History* 86 (1946): 327–374.

[5] Meike Köhler et al., "Seasonal Bone Growth and Physiology in Endotherms Shed Light on Dinosaur Physiology," *Nature* 487 (2012): 358–361, doi: 10.1038/nature11264.

[6] Kevin Padian, "Evolutionary Physiology: A Bone for All Seasons," *Nature* 487 (2012): 310–311, doi: 10.1038/nature11382.

[7] S. L. Brusatte, *Dinosaur Paleobiology* (Chischester, UK: Wiley-Blackwell, 2012), 216–226.

[8] P. Martin Sander et al., "Biology of the Sauropod Dinosaurs: The Evolution of Gigantism," *Biological Reviews* 86, no. 1 (2010): 117–155.

[9] Christine M. Janis and Matthew Carrano, "Scaling of Reproductive Turnover in Archosaurs and Mammals: Why Are Large Terrestrial Mammals so Rare?" *Annales Zoologici Fennici* 28 (1992): 201–216; Jan Werner and Eva Maria Griebeler, "Reproductive Biology and Its Impact on Body Size: Comparative Analysis of Mammalian, Avian and Dinosaurian Reproduction," *PLoS ONE* 6, no. 12 (2011): e28442, doi: 10.1371/journal.pone.0028442.

[10] John A. Whitlock, Jeffrey A. Wilson, and Matthew C. Lamanna, "Description of a Nearly Complete Juvenile Skull of *Diplodocus* (Sauropoda: Diplodocoidea) from the Late Jurassic of North America," *Journal of Vertebrate Paleontology* 30, no. 2 (2010): 442–457, doi: 10.1080/02724631003617647.

## 第六章

# 恐龙社会

克利夫兰–劳埃德恐龙采石场（Cleveland-Lloyd Dinosaur Quarry）很容易错过。以 110 公里的时速行驶在犹他州普赖斯和莫阿布之间的 6 号国道上（在路上我第一次见到了当地标志性的风滚草懒懒地滚过公路），毫不奇怪像我这样的恐龙爱好者会从那块棕色指示牌身边一掠而过——它指示了一条土路，经过农场和裸露的岩石，一直通往一块红色、灰色和绿色杂错的恶地。或许还是该怪自己被美丽的风景分了心。通往采石场岔路的国道（属于犹他州和科罗拉多州的"恐龙菱形"国家风景道路的一部分）两边都是裸露的岩壁。道路旁的沉积物小丘之间，穿插着大块长条形的层面，袒露着自己的地质年代，而角度合适的夕阳余晖则会让它们熠熠生辉。这幅情景哪儿是在低声轻诉深时（Deep Time）的真相，那几乎是在高声宣告着这一事实！我实在是无法理解，在这个年代居然还有鼓吹神造论的家伙相信这些地质学上的雄伟盛景都诞生于几天之内。五彩缤纷的地层突显了时间不容置疑的深度，这根本不可能是一场洪水的结果。年代重重叠叠，在西部炽烈的阳光之下一览无余。在这里，时间的踪影随处可见。

当我第一次开着红色小破车驶过崎岖道路和这些岩层的时候，欢迎我的是一排上了锁的破旧黄色大门，它们离采石场入口只有一英里

远。很明显，地方偏僻得让土地管理局决定只在周末和夏季开放游客中心。可惜我走到门前才明白过来，当时距正式立夏还有一天。我只好一边咒骂起自己的愚蠢，一边开始驶回盐湖城的三小时旅程。

对骨床的渴求让我在第二周又去试了试运气，这次我有了一位旅伴——我颇有耐心的夫人特蕾西。和我这个疯狂的恐龙粉丝不同，植物学才是她的科研热情所在，但她也不会放过任何探索犹他州美景的机会。我们在 2009 年里第一次造访犹他州，并决定要搬来西部。此后的每一次旅程，都在欣赏当地荒野风光和临时改变计划去看看附近有没有恐龙化石之间摇摆不定。迁居犹他州确实让我们愉快地交上了好运，特蕾西可以置身于以前不熟悉的生态系统，而我可以观看渴望已久的恐龙栖息地。在这片遍布化石的美丽大地上，我们都得到了实现梦想的机会。虽然我在犹他州的第一个夏季错过了一次参观克利夫兰–劳埃德的机会，但我知道自己在第二年一定会及早去造访这个有史以来最重要的化石点。

所幸这一次，我发现了一条更方便的路线，走从普赖斯郊区到埃尔莫镇的柏油路。埃尔莫是个乡村小镇，周边点缀着一个个蓄养大羊驼和牛儿的农场。虽然它就坐落在公园外围，但我们还是要在土路上开上几英里。坏掉的空调让我们不得不摇下窗户来吹吹风，于是车里所有的东西都被蒙上了一层细尘。我一边顺着土地管理局的路标指示驶向采石场，一边不停查看时间，计算着离化石点关闭还剩多少时间。我可不想在路上浪费一秒钟时间。

*

面前是一座用石头和玻璃建造的低矮长屋，矗立在空荡荡的野餐区长椅之间，而访客只有我和我太太。尽管这个采石场不仅保存着几十具恐龙遗骸，并且还是首次发现多种有着尖牙利齿的兽脚类恐龙的地点，但它感觉像个秘密宝地，只吸引了那些早有所闻的人慕名前来。

在国道边的指示牌上，“恐龙”一词之后只是“采石场”三字——这也太平淡无奇了。要是指示牌换成“异特龙死亡陷阱这边走!”，说不定还能从高速路上吸引更多游客。

克利夫兰–劳埃德恐龙采石场留有侏罗纪最令人费解的谜题之一。身负这个谜题的明星张着血盆大口站在游客中心里，我径直走向了这只让我开了三小时车（而且是两次!）的恐龙。在玻璃柜一水黑亮的头骨（它们代表着这个化石点里最具魅力的一些恐龙）之上，圆形围栏中站着一只巨大的异特龙。我听说过这个复原骨架，并马上就发现这是一个混搭产物。它的身体根据在采石场发现的骨骼复原，头骨的原型则是国家恐龙化石保护区的一个标本，那地方离这里还有几个小时车程。而国家恐龙化石保护区的异特龙复原骨架又以克利夫兰–劳埃德的骨骼为依据，着实有些奇妙。这两个激动人心的骨床一道为侏罗纪里最常见的掠食恐龙勾勒出了生活点滴。

异特龙经常被刻画成暴龙的软弱先祖。这种看法有失公平，或者说并不准确。直到 20 世纪 90 年代，古生物学家都将大型掠食恐龙归为一类，即“食肉龙类”。在这个分类系统中，北美侏罗纪的顶级掠食者无疑为白垩纪那更庞大的掠食者打下了基础。但古生物学家后来发现，食肉龙类里其实混杂着各种差别极大的恐龙，它们属于多个超级肉食恐龙支系。异特龙不仅被划入专门捕杀大型蜥脚类的异特龙类，而且有罕见的标本表明它们和暴龙一样庞大。它们并非著名史前暴君的软弱先祖，而是形貌骇人的敏捷掠食者。部分古生物学家还根据克利夫兰–劳埃德的化石推测这些以迷惑龙为食的掠食者会群体捕猎。

古生物学家从 1927 年开始在克利夫兰–劳埃德的侏罗纪墓地发掘，他们从史前乱葬岗里清理出了 46 具异特龙的遗骸。大部分骨骸都零落散布在一大骨床里，有些破碎的骨骼表明有其他恐龙啃食过它们的尸体。在这里找到的左股骨让古生物学家估算出了异特龙的最小数



在晚侏罗世里，异特龙是犹他州最常见的大型掠食者。古生物学家仍在研究为什么这种肉食性恐龙会如此成功。（由作者拍摄于犹他州自然史博物馆）

量，但不是每只葬身于此的异特龙都在骨床里留下了同样的骨骼。此外，这个骨床目前只开掘了约 1/3。我们可能永远也不知道此地异特龙化石的数量到底有多庞大。

这里的沉积物里也有其他掠食者的碎片，比如更庞大的、有着刀状齿的肉食性蛮龙和大型的角鼻龙，当然也少不了剑龙、大而优雅的重龙以及钝头蜥脚类圆顶龙。还有早期的暴龙史托龙以及神秘的兽脚类马什龙，这里正是它们首次被发现的地方。但它们的数量都远不及异特龙，即使加在一起也赶不上。

在游客中心里打呵欠的异特龙骨架其实是一具混合了不同恐龙骨骼的标本，它代表着无数长眠于此的生命。这些已经磨损的黑色化石反映出了异特龙的标准形象。犹他州有史以来第一位本地古生物学家——詹姆斯・马德森在一本经典著作中将这里每一块异特龙骨骼化石都进行了分类。利用此地异特龙骨骼复原的骨架遍布全球各博物馆。我请画师格伦登・梅洛（Glendon Mellow）为我的右臂设计一个异特龙文身时，他选择在皇家安大略博物馆寻找灵感，而那里矗立多年的异特龙骨架也是克利夫兰–劳埃德化石的铸模。如果你在博物馆里见到了异特龙，那它的原型很有可能正是来自犹他州的这个化石点。

游客中心的不远处就是用来遮蔽已发掘骨床的建筑。这里不是国家恐龙化石保护区，但土地管理局还是在原地留了一些化石，并用炭色铸模模型再现了骨床当年的密集程度。这里简直是个恐龙乱葬岗，暴露岩层上撒满了头骨、肋骨、椎骨和四肢骨的碎片。克利夫兰–劳埃德采石场就是一片化石大乱炖之地。

没人知道到底是什么造就了这片骨床，也没有人明白为什么异特龙在化石中占据了主导地位。肉食性恐龙的庞大数量和密度表明这里可能是引诱掠食者的陷阱，就像历史晚得多的拉布雷亚沥青坑，这个位于洛杉矶中部的陷阱坑害了无数剑齿虎和恐狼。马德森等古生物学

家就克利夫兰–劳埃德采石场形成历史提出的经典观点如下：当侏罗纪某次干旱达到顶峰时，一只焦渴的剑龙或圆顶龙在被炙烤的大地上发现了一个稀罕的水塘。当这头植食者低下脑袋喝水时，它柱子一样的四肢压破了龟裂的土地，陷进了下面紧吸不放的淤泥，它的垂死挣扎反而让它越陷越深。受害者根本没法挣脱，而当它死亡之后，它腐烂的臭气会让方圆数英里内伺机猎食的肉食性动物循味而来——当然，如果它那痛苦的哀嚎没有早早招来异特龙的话。但异特龙在享用免费大餐的时候也遭到了同样的厄运。这就像一个捕龙虾笼被丢弃在一个水塘里，从而这个腐臭的水塘一季又一季地不断吞噬着生命。鉴于异特龙是当时最常见的掠食者，而且绝大部分化石都属于肉食性恐龙，因此这个猜想可以解释此处骨骼的不平衡状态。

掠食者陷阱这个观点并没有得到一致认可。当时的地质环境并不明确。有人认为这里有肮脏的泥塘，而其他观点则认为骨床的成因是不断有恐龙死于干旱，或者有大量骨骼从别处被冲刷到此。对于 1.5 亿年前的采石场到底发生了什么，所有研究者都有一套自己的看法。而在他们的猜想里还存在着其他谜题。如果这里曾是掠食者陷阱，那么为什么大多数受害者都是异特龙，而其他大型掠食者非常少见？异特龙种群真的如此庞大吗，还是有其他原因造成了样本偏差？

还有一种可能是克利夫兰–劳埃德的异特龙并非单独行动。如果这个化石点并不是体现着前仆后继的独行掠食者，而是一大群家族或社会团体呢？犹他州自然史博物馆——克利夫兰–劳埃德化石点的大部分化石都保存于此——在 2011 年打造新的古生物学展厅时展示了这个观点。一只不幸的重龙陷在侏罗纪的淤泥里，它向空中扬起了华丽的长颈，而一个异特龙家族不断奚落骚扰着这头巨兽。一只没有耐心的小异特龙跳上了蜥脚类猎物的背部，把它骨架上的利爪插进了虚幻的血肉。这场景简直是一场残酷的侏罗纪自助大餐。

克利夫兰–劳埃德的异特龙化石组合可以是它们会集体对付大型猎物的一个证据。不过这个证据本身不是太确凿。这片骨床的形成经历了数周，甚至数年时间。大量恐龙埋葬于同一个地方不一定意味着它们过着群体捕食的生活。在这里，我们不能确定化石点是代表着几个异特龙群体还是这里生活过大量独居动物。克利夫兰–劳埃德化石点依然是一个中生代悬案。

犹他州东部的这片采石场并非个案。世界各地发现的恐龙骨床都指出了这种可能性，即部分恐龙是同生共死的社会动物。恐龙中最能体现集体墓地奇特性质的成员当数恐爪龙。只要想想《侏罗纪公园》就一目了然了。暴龙是残暴力量的化身，它们是大自然的力量，既能够撞破围墙又能碾压脚下的阻碍。伶盗龙则体现着恐龙的诡秘和狡黠。不过，我们认为是伶盗龙的角色，其实应该属于恐爪龙。这个名字变换要归咎于一本早于斯皮尔伯格在赛璐珞上做特效之前五年出版的书。在 1988 年出版的《全球掠食性恐龙》一书中，古生物画师格雷戈里·S. 保罗对恐龙使用了自己独特的命名法则。他将恐爪龙和伶盗龙混合了一起。而事实上，恐爪龙是长着镰刀利爪的掠食者，由约翰·奥斯特罗姆于 1969 年根据蒙大拿州不完整的骨架命名。伶盗龙是与之类似的杀手，但体型较小，由亨利·费尔菲尔德·奥斯本于 1924 年根据在蒙古发现的骨骼命名。伶盗龙命名较早，因此保罗将身体更大且不同的恐爪龙也归入了伶盗龙。古生物学家不同意这种更改。然而在读了保罗的著作之后，正为写作《侏罗纪公园》而温习恐龙学的迈克尔·克莱顿为小说里更强壮可怕的恐爪龙改了名字，这真是令人扼腕。真正的伶盗龙其实不太危险。这种掠食者虽然全副武装，但只有火鸡大小，还不足以捕猎成年人类。

是智力让克莱顿笔下得到强化的伶盗龙拥有了如此致命的力量。暴龙是单纯的杀手，但伶盗龙会用恐吓和佯攻引诱猎物进入陷阱。这

个观点源自古生物学家约翰·奥斯特罗姆，他根据首次发现恐爪龙的化石点做出了这种假设。[1]蒙大拿州中部的一个采石场保存着一具腱龙骨骼和多个不完整的恐爪龙骨骼。这头不幸的植食者是鸟臀类恐龙的一员，表亲里包括更著名的禽龙。这种平淡无奇的恐龙没有尖刺、甲板和其他装饰结构，只有喙部和长尾巴。它们既可能是四足动物也可能是两足动物。如果掠食者正在寻求手无寸铁的猎物，那它们正是完美的目标。由于奥斯特罗姆及其同事又在同一个采石场发现了多具不完整的恐爪龙骨架（这种食肉动物体型修长且肌肉发达，长着可以刺进猎物身体的回缩趾爪），一切似乎都表明一群掠食者正在攻击腱龙。它们有些成员因失败而毙命，有些则享用到了肥美的战利品。恐爪龙在肢解腱龙的时候落下了大量牙齿,成为了这场恐怖胜利的证据。

合作能力立刻让恐爪龙在恐龙中独树一帜。在此之前，古生物学家认为掠食性恐龙都是自顾自捕食的独行侠。恐爪龙成了一个异数。斯皮尔伯格电影中的伶盗龙则让恐爪龙的战术广为公众所知。毕竟，片中罗伯特·马尔登在被重创并最终可能被一只伶盗龙吞食之前的遗言就是“聪明的女孩”。

不过，奥斯特罗姆描述的采石场只是显示，有部分恐龙被埋葬在了一起。2007 年，耶鲁皮博迪博物馆古生物学家布赖恩·罗奇和丹尼尔·布林克曼在回顾现有证据之后认为，支持恐爪龙群体捕猎的理由并不是那么充分。[2]在罗奇和布林克曼的假设中，恐爪龙非但没有齐心合作，反而相互竞争，而化石点里的恐爪龙尸体其实死于争夺肥美腱龙的落败者。博物学家在现生科摩多巨蜥身上也发现了相似的行为：每只巨蜥都只顾自己，大家一起发现尸体时也不例外。简言之，杀死这些恐爪龙的原因可能不是捕猎大餐失败，而是为了吃上一口肉的相互争斗。和异特龙骨床以及其他掠食性恐龙的集体墓地一样，恐爪龙的坟场不能直接证明它们会协同作战。

虽然异特龙和恐爪龙化石点都难以解读，但至少有一个骨床反映出了恐龙的社会行为。这个化石点位于加拿大的艾伯塔省立恐龙公园，它记录了一场让数十头尖角龙同时遇难的可怕灾祸。[3]这种长角恐龙生活在7500万年前白垩纪的艾伯塔地界。尖角龙身体结实，四肢粗壮，行动时四肢并用，总的来说属于典型的角龙类。不过它们头骨上的装饰别具一格，即鼻子上长有略弯的长角，但没有眉角，同时颈盾上具有钩状结构和小角。

从收集的骨骼来看，该化石点的尖角龙至少有57头，但实际数量无疑要多得多。采石场里数量庞大的骨骼表明可能有数百头恐龙遇难。大部分已经发现的骨骼都属于成年尖角龙，不过也有亚成年和幼年尖角龙。骨骼碎片的惊人数量告诉我们曾有大量尖角龙集体行动，这必然是最壮观的史前奇景之一。这里的恐龙实在太多，让人没法否认它们会群体活动。这里不是尖角龙年复一年来偷偷终老的秘密坟场，而是一场灾害顷刻造就的悲剧。

这片骨床只是恐龙埋葬之地，有证据暗示它们都死于离这里不远的地方。最流行的假设认为，尖角龙当时在群起渡河，就像今天的驯鹿、牛羚和其他植食性哺乳动物一样。但中途出了意外，可能是水位太高，也可能是它们开始恐慌。不管直接原因是什么，大部分成员都不幸溺亡。它们没有被马上埋葬，腐烂的身体肯定在水中沉浮一番之后又被抛上河岸。腐食动物没法吃光这么多尸体。当地的暴龙类（也就是蛇发女怪龙）前来饱餐过这顿尖角龙自助餐，还留下脱落的牙齿作为证据。而尖角龙骨头上的小牙印表明小型哺乳动物也来分了一杯羹。最后洪水泛起，让它们的骨头一起沿河床翻滚，来到最后的安息之地。这里的骨床并不是历经多年而积累起来的，也不能被解释为一大群恐龙为争夺同一食物来源而积聚于此。此地的化石点记录了大量共同行动的动物迅速死去，展现出了恐龙集体生活和死亡的浮光掠影。

骨床是古生物学家用以研究恐龙社会性的一条线索。而最能证明恐龙生活情况的一些线索来自另一方面——恐龙足迹。说实话，它们不如恐龙骨骼那样诱人。我还记得小时候看到曾经漫步于新泽西州的恐龙留下的足迹时我有多么失望。当时父母带我去参观附近莫里斯博物馆的“恐龙之巢”。那个昏暗的小展厅里有一些铸模和一只巨大的剑龙——这种装甲巨兽与我的家乡一点关系都没有，真正属于本地的化石只有留在红色石板里的三趾足迹。它们看起来就像是巨大的鸟脚印——这也毫不奇怪，因为在恐龙被发现之前，康涅狄格河谷里这样的足迹便曾被称为“火鸡脚印”，而安默斯特学院的地理学家爱德华 ·希契科克（Edward Hitchcock）认为造迹者是像恐鸟一样的鸟类。足迹没能引起我的兴趣，我想要真正的恐龙骨架——我要看着动物的体魄来想象它们令人敬畏的力量。

那时我还不明白恐龙足迹真正的意义：凝固在化石中的行为。试想一下，一只角龙类——比如满头尖角的戟龙——走过泥泞的史前河岸。这头长着尖刺的植食者踽踽独行，每只脚都在硬质淤泥上留下了印记，这便是一份戟龙行动方式的详细记录。化石保存方式的特殊性使同一地区很难同时保存下足迹和骨骼。除非有恐龙倒地而死后不再移动，否则我们只能猜测可能的造迹者。这个问题被称为灰姑娘综合征：给足迹找到对应的骨骼“水晶鞋”困难重重。不过恐龙足迹具有鲜明的特征，足以让古生物学家缩小造迹者的范围。全球多个化石点都具有恐龙步道，其中的足迹证明它们会行走、奔跑，有时还会集体行动。康涅狄格河谷的部分足迹朝向同一个方向且相互平行，表明数只恐龙在并肩行进。

康涅狄格河谷的足迹是由小型到中型恐龙留下来的，其中大部分是兽脚类。而其他一个地方发现的更罕见的足迹则表明，甚至大型恐龙有时也会结伴而行。古生物学家罗兰 · T. 伯德让同事留意到了这片

区域，虽然这不是由他最早发现的。[4]他在 1938 年来到得克萨斯州格伦罗斯的时候，当地居民已经都发现了恐龙足迹。事实上，正是巨大恐龙足迹的传言将伯德吸引到了帕拉西河附近，当时他正在为美国自然史博物馆中的“雷龙”骨架寻找对应的足迹。那时当地已经兴起了发掘恐龙足迹作为花园装饰品的家庭产业。当然也有伪造赝品的家伙，他们沉醉于在有恐龙足迹的岩石上制造类似人类的足迹，好让容易受骗的人相信人类和恐龙曾生活在同一个时代。

帕拉西附近不缺足迹。有些足迹似乎还记录了单个动物的行迹路线，而有几个特殊的足迹点保存着数只恐龙的行动痕迹。伯德第一次造访这个化石点，便一头扎进了达文波特家农场里肉食性恐龙足迹的研究。他发现这里的确有大型掠食者的足迹，可能是背部长有棘突的高棘龙，这种恐龙是异特龙的表亲。不过农场里还有一个蜥脚类恐龙的化石点。伯德曾经考虑过要进行发掘，但他在当时的日记里写道：“达文波特夫人跟野外工作里的各种问题一样麻烦。”这位夫人不希望东海岸的科学家闯进家门，从她的土地上夺走足迹。当地的足迹收藏家也曾因为垂涎足迹而纠缠过达文波特家，但达文波特太太坚持要让足迹都留在原地。“据她所知，还没人从达文波特家的产业里弄走过足迹，”伯德写道，“即便享有盛誉的美国自然史博物馆现在或将来打算这样做也门都没有。该博物馆野外工作人员的任何甜言蜜语都将如同甜蜜和芬芳消散在荒漠空气中。”但伯德最后还是唤起了达文波特一家对造迹者的好奇，于是得到了挖掘土地的许可。但他的胜利也就到此为止了：他们依然不允许他把战利品带回纽约。

不过伯德和他的雇工们还是热心于工作。有一处蜥脚类恐龙足迹消失在表面岩层之下，他们就在那里剥下了一层又一层的石灰石。让他大吃一惊的是，顶层岩石下面还藏有一排宽阔的恐龙足迹。他写道：“找到的化石越多，我们就越是发现还有更多东西在等着我们发掘……

这里似乎有无数蜥脚类足迹，它们的延伸也没有尽头。”当这片足迹点最终全部重见天日之后，伯德根本无法相信自己的眼睛。

> 这里的发现与帕拉西的单个蜥脚类恐龙行迹完全不同。曾有一群巨兽在此地一同狂奔或行动。我想统计出准确的数目，但力不从心。我最开始在六米见方的地方发现了七只恐龙的足迹，但离这里几米之外的足迹是一堆大杂烩。最重要的是，它们都朝向同一个方向，而且可能形成于同一时间。

足迹的大小也不完全一样。大大小小的足迹表明幼年恐龙和成年恐龙共同行动。当时人们以为大型恐龙是居住在沼泽里的迟钝生物，因此伯德认为化石点基本上都没留下尾部拖曳痕迹的原因是这些恐龙在淌过浅水。其中一组足迹，在伯德看来，后面留有长长的拖曳痕迹，因此他猜测这是不是因为造迹者特别巨大、疲劳，或“可能在用尾巴做标识”。（他写道，“或许未来的科学家会解决”恐龙行迹里为什么没有尾迹这个问题。但事实上，如果当时就出现了正确的解剖学复原，那么他们本来也可以解开这个谜题。伯德的工作受到了时代的局限，其实这个谜题根本不算谜题：恐龙走路的时候尾巴不着地。他的观察，“大部分我的恐龙奔跑时都高抬起尾巴”，其实正中肯綮，只是在他发掘足迹的那个时代人们还尚未认识到。）

在伯德之后，达文波特农场这些密集的足迹继续吸引着古生物学家。这些朝向同一方向的蜥脚类足迹都有力地证明了此类动物中有些会集体行动。古生物学家罗伯特·巴克提出的一种观点认为，小恐龙在队伍中央缓慢行走，以免受到掠食者的伤害。

但蜥脚类恐龙可能并不是这种关爱孩子的父母。行迹研究中有一个问题：即使是在同一个团队里，多个动物行动时的足迹也常常会相互重叠并使行踪难以分辨。达文波特的恐龙群里至少有 23 个成员，其

中的小足迹重叠在大足迹上。根据足迹专家马丁・洛克利（Martin Lockley）的说法，这表明它们没有为保护幼龙而做出特别部署。较小的恐龙只是跟在大恐龙后面，并没有得到专门保护。它们似乎在通过某种窄道，因此通过时不得不排成一列，而无法群起涌入。

总的来说，我们没法确定蜥脚类是否会集体行动。尽管它们的身体结构相似，但这个时间跨度极大的种群有着各种习性不同的成员。它们有的会独自生活，有的会组成族群——认为这些多种多样的生物会采用同一种行为方式那就太蠢了。得克萨斯州那样的足迹表明，部分蜥脚类恐龙至少会集体生活一段时间。但我们对恐龙社会结构的具体细节几乎一无所知。到目前为止，岩石里的记录只能表明部分蜥脚类恐龙是群居动物。

行迹是恐龙社会生活最直接的证据。例如，虽然恐爪龙和其他驰龙类都会群体捕猎的观点最初是基于不太可靠的证据，但确实有一些独特的行迹表明恐爪龙偶尔会集体行动。这种恐龙特殊的足部是辨识出造迹者的关键。大部分兽脚类恐龙都以三趾站立，但恐爪龙和现生鸵鸟一样只使用两趾。它们的第二根脚趾接近足部中线，上面长有可以回缩的巨大利爪。第二趾在行走时不接触地面，制造出了非常独特的足迹。这种恐龙留下的一组行迹表明，有多个成员同时向同一方向行进，行迹之间的距离大约和它们的身体宽度相同，有力地证明了它们组成了一个社会群体。[5]尼日尔的另一道行迹表明，有一只驰龙类在行动时改变了另一只恐龙的前进方向。这个来自早白垩世的绝妙时刻是此类恐龙会相互交流的证据。驰龙类具有高度组织化且等级森严的社会只是耸人听闻的推测，并无科学根据。但这种利爪掠食者中至少有部分成员会成群结队。

足迹和骨床的证据毁掉了我幼年时接触到的经典恐龙形象。我最初邂逅的恐龙都是些闷闷不乐的独居动物。剑龙和“雷龙”都独自采

食着柔软的植物，自信哪怕树后可能埋伏着异特龙和暴龙之类的恶棍，铠甲骨板和庞大体型也会让它们安全无虞。伴我成长的书籍、电影和博物馆展品都告诉我，只有三角龙和恐爪龙会时常成群行动，不过一个是为了自保，一个是为了捕食。

艾伯塔省立恐龙公园的尖角龙骨床、帕拉西的足迹以及其他化石点都表明，很多恐龙都过着集体生活。但恐龙的社交活动不一定都十分友好。我们最爱复原恐龙互相撕咬的场景。古生物学家从一开始描述恐龙时，就无法忽视它们令人震撼的攻防力量。在一本 1838 年出版的讨论上帝大能如何在自然界中得以体现的专著中，博物学家威廉·巴克兰将可怕的巨齿龙（在他看来是一种凶暴的大型肉食性蜥蜴）描述成了智能设计的杀戮机器。[6]在巴克兰笔下，巨齿龙相当擅长杀戮，这种掠食者的效率实际上“往往让猎物遭受的痛苦大为减少……它们的牙齿和颌部能让死亡瞬间来临，对达到这种令人满意的结局十分有利”。

而就连植食类恐龙都被复原成了邪恶的野兽。在一副最早期的恐龙绘画中［画家是知名的天启灾难画家约翰·马丁（John Martin）］，一条巨蟒一样的禽龙张开布满利齿的血盆大口，打算回击一只正在进攻的巨齿龙。这幅画没什么科学含量，倒是更像中世纪版的恶龙大战，不过发生时间要比圣乔治屠龙事件早上数千万年。

虽然没有马丁想象中末日之战那般骇人，但东犹他州立大学史前博物馆的一根骨头也记录下了异特龙和剑龙之间的一场血腥争斗。这个小博物馆坐落在普赖斯的要道上，离克利夫兰–劳埃德采石场不远。那里有一只没长羽毛的青铜犹他盗龙高抬着腿迎接进入停车场的旅客。博物馆大厅里还有一只犹他盗龙在模仿忍者。我上次来这里参观是因为没能进入附近的恐龙坟场，当时很多其他骨骼都没有展出。为

了赶上21世纪的恐龙学观点，工作人员正在给它们抬高尾巴、调整脊柱。不过展厅里还是有很多可看的东西，比如一块异特龙椎骨，上面附有一根剑龙尾刺。

其实这并不是这块化石刚发现时的模样。[7]这块异特龙尾椎骨最初来自克利夫兰–劳埃德的骨床，其中一侧具有一个古怪的C型穿孔。史前博物馆馆长肯尼思 · 卡彭特及其同事认为，一只剑龙的尖刺刚好可以插进这个伤口。伤痕源自一场侏罗纪的战斗，剑龙甚至为此留下了身体的一部分。异特龙的骨骼没能完好愈合，有证据表明折断的剑龙尾刺尖端嵌在了它的身体里面。这种危险对剑龙的掠食者以及该装甲恐龙本身而言可能并不罕见。约10%的剑龙尾刺都有在尖端处折断后愈合的痕迹。据研究者推测，剑龙尖刺最常见的作用是在掠食者身体的一侧割开长长的伤口。但当肉食性恐龙从特定的角度接近时，尖刺很可能会折断在攻击者的体内。虽然细节已经遗失于史前时代，但异特龙和剑龙曾生死对决的事实在骨骼化石里保留了下来。

同一种恐龙之间也会互相争斗。比如伊利诺伊州伯比自然史博物馆中年轻暴龙“简”头骨上有愈合的伤痕，表明暴龙内斗时会直接撕咬对方面部。内斗不是肉食性恐龙的专利。三角龙的头骨上也留有同类相争的证据。

2011年秋天，在路过加利福尼亚州克莱尔蒙特时，我去雷蒙德 ·M. 阿尔夫古生物博物馆拜访了我的朋友、古生物学家安德鲁 · 法尔克。此行的主要目的是参观博物馆的新古生物展厅，同时也想看看法尔克的三角龙模型。几年前，法尔克用一对恐龙雕塑展示了著名的角龙类之间是如何角斗的。[8]在跟他去办公室的路上，我问他能不能观看一下给了他灵感的塑料模型。他很高兴地从架子上拿下模型递给我观赏：那是一个非常精细的三角龙头骨，大小约为实物的15%。法尔克用另

一个一模一样的模型模拟了两头三角龙的战争。

无数恐龙书籍里都说三角龙具有两根长在眼睛上的长角和一根鼻子上的短角，还有一个宽大的实心颈盾（或者，如果“牛角–三角龙”理论成立，那么颈盾在它们一生的大部分时间里都是实心的）。一代代的古生物学者（更别说还在玩沙的孩子）都相信，这些结构看上去像为战斗而准备的武器。耶鲁大学的古生物学家理查德·斯旺·勒尔描述过这种恐龙（如果它被证明实际上是另一个种属，那它或许应该被称为双角龙）的一个存在古病理的标本。[9]他写道：“只有眼眶上的角是攻击武器，颈盾则能完美抵挡对方尖角带来的冲击。它们的战斗方式和老马赛克画上手持矛和盾的骑士一模一样。”不管是为了刺伤暴龙还是抵挡对手，三角龙必定会用这种武器做出戳刺、阻拦和格挡的动作。

但一直以来实际上没人具体研究过三角龙的防御手段。它们的防御能力似乎不证自明。但法尔克想研究出这种恐龙进行长矛比武的方式。他通过操纵两个模型来模拟三角龙的战斗后发现，只有少数几个位置能让两头龙尖角相抵。三角龙可能会把脑袋偏到一定角度，以便双方都只用一根眉角和对方纠缠；或者将脑袋向下倾斜更大的角度，好让两根眉角都参与战斗；也可能会把头偏向一侧，让眉角相抵，同时用鼻角捅进对方的颈盾。

法尔克可不是在随便摆弄玩具。在确定尖角相抵的位置范围之后，他便能够在真正的三角龙头骨上寻找战斗的痕迹。如果三角龙的确是按照他估计的方式角斗，那么被角刮擦到的头骨应该会受到损伤。他和同事尤安·沃尔夫以及达伦·塔克在2009年的论文《三角龙的战斗证据》中沿用了这种理论。[10]这几位古生物学家为寻找常规战斗的明确证据而查看了头骨的各个部位。和法尔克的模型所预料的一样，三角龙头骨外下部的骨骼——鳞骨和颧骨——最容易受伤。

三角龙头骨上的破损符合恐龙经常角斗的理论，这种损伤在它们的远亲尖角龙那里要更常见得多。尖角龙具有长长的鼻角和短短的眉角，和三角龙恰好相反。有些化石的颧骨上具有损伤，但受伤方式不同，可见它们采用了不一样的战斗方法。尖角龙的确没有可以互相锁合的角，因此法尔克及其同事推测这种恐龙的比拼武器可能是威武的外貌。这可能也是角龙类的主要竞争原则。在长着角的恐龙中，角的排布方式和颈盾形状多得令人称奇，但很多看起来都不适合战斗——不论是针对同类还是掠食者。比如最近得到描述的华丽角龙，它们短短的颈盾上长有一排向前折叠的短角，脸部装饰结构包括两根向侧边伸出的短角和一根极似刀刃的低矮鼻角。我是想象不出来这些恐龙该怎么用头部互相戳刺猛撞。

确实，很多恐龙装饰结构很可能炫耀作用大于防御作用。恐龙以怪为美：角、尖刺、甲板、背帆等是常见的结构，虽然它们在不同恐龙中的生长方式略有不同。在很长一段时间里，大部分此类结构的作用似乎都十分明显：三角龙的角、甲龙的铠甲、肿头龙的厚脑壳以及剑龙的甲板，这些防御结构都是为了伤害掠食者，以及可能的，赢取红颜的青睐。但我们对恐龙行为的推测常常受限于自己的想象力，或缺乏想象力。解剖结构看上去像长矛、大锤或破城锤，并不意味着它们就是被这样使用的。当科学家开始探究恐龙武器库的性质时，防御武器和炫耀构造之间的界限开始模糊起来。

在各种身体构造奇异的恐龙中,长着厚脑壳的肿头龙最令人困惑。它们不是悍勇的四足动物，而是两足植食者，头顶上生长着带有棘突的增厚型圆顶骨骼。这种头部似乎非常适合用来互撞到头骨开裂。今天的大角羊就是用这种方式来决定社会群体中的统治地位的。

在具有圆顶状头部的恐龙中，最著名且赋予了整个种群名字的成员便是肿头龙本尊。这种恐龙的头骨呈楔形，具有长着隆起物的狭窄

鼻部、围绕头骨的圆形凸起以及后脑勺边缘四周的多个凹凸结构。为什么会有恐龙长出这种头部一直没有答案，不过根据古怪结构通常是防御或攻击武器这个逻辑，埃德温·科尔伯特提出肿头龙会经常通过头部互顶来打斗。不然这么厚的头顶还能有什么用？

然而，肿头龙和羊的类比并不确切。现生哺乳动物的弯角具有可以吸收冲击的宽大表面，肿头龙则具有坚实的圆顶。在伯克利拜访古肿头龙专家马克·古德温时，我打趣道，这种头骨要是碰在一起，那肯定就像两个砰砰相撞的保龄球一样——冲击力都集中在互相接触的一小块地方。"没错！"他笑道，两头肿头龙搏斗的结果就是让自己身受致命伤。

我并不是第一个注意到这种问题的人。很多古生物学家都认为肿头龙并不擅长头部互顶，古德温和杰克·霍纳的研究成果再次强调了这种结构在撞头搏斗中有多碍事。[11]和研究者从其他恐龙身上得到的发现一样，肿头龙的头骨会随年龄增长而发生巨大变化，利于吸收冲击的骨骼结构只在它们完全成熟之前昙花一现。据古德温和霍纳估计，肿头龙的头顶可能是用于识别同类的信号，还可能在交配季节中的性竞争和选择中发挥作用。我们本以为是武器的构造结果却是传递社会信号的工具。恐龙的古怪结构无疑在它们的社会生活中起着重要作用，包括识别同类、吸引配偶和恐吓对手。当然，在有些案例中，比如三角龙，防御和炫耀功能恰巧结合在了一起。而最近的一项发现表明，肿头龙可能也是如此情况。

多年以来，肿头龙头部互撞这一观点的反对者一直在强调，从来没人发现过肿头龙的头骨上有互撞留下的伤痕。就算它们真的以头颅作为武器，那也很可能是用侧边互顶。但 2012 年，约瑟夫·彼得森和克里斯托弗·维托雷从肿头龙的头骨上识别出了创伤性冲击造成的损伤，颅骨受伤后还发生了感染。[12]彼得森和维托雷认为创伤最有可能由撞头行为所致。随着古生物学家重新检视自己的肿头龙圆顶头骨收

藏，也许其他证据会重见天日，给关于装饰结构的争论再添一把火。

颈盾损伤和颅顶下凹之类的病理记录下了恐龙之间曾经有过的互动，但结构本身会发生演化这一事实也能告诉我们有关恐龙社会生活的点滴。角、颈盾、圆顶、尖刺、甲板和其他结构都具有多种功能，它们既能参与战斗，也能发挥视觉识别信号的作用。它们是恐龙用来相互交流的符号，并跟骨床及足迹一道，为我们揭示了有关恐龙互动方式的蛛丝马迹。事实上，扩展适应是推动演化的动力，因此某个结构在当前的功能不一定能揭示它在最初演化而来时的用途。羽毛就是一个完美的示例。尽管很多恐龙装饰结构都是骨骼，但羽毛及其原始的绒毛前身也是一种常见的恐龙特征，必定在恐龙社会具有某种用途。虽然尾羽让恐龙最终飞上了天空，但羽毛最初的作用与炫耀及保暖有关，只是后来才变得适应于飞行。而由于一个偶然的发现，我们现在得以能够开始研究恐龙如何运用颜色（甚至是明艳的颜色）来炫耀自己。

## 注释

[1] John H. Ostrom, “Osteology of *Deinonychus antirrhopus*, an Unusual Theropod from the Lower Cretaceous of Montana,” *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 30 (1969); W. Desmond Maxwell and J. H. Ostrom, “Taphonomy and Paleobiological Implications of *Tenontosaurus-Deinonychus* Associations,” *Journal of Vertebrate Paleontology* 15, no. 4 (1995): 707–712.

[2] Brian T. Roach and Daniel L. Brinkman, “A Reevaluation of Cooperative Pack Hunting and Gregariousness in *Deinonychus antirrhopus* and Other Nonavian Theropod Dinosaurs,” *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 48, no. 1 (2007): 103–138, dx.doi.org/10.3374/0079-032X(2007)48 [103:AROCPH] 2.0.CO;2.

[3] Michael J. Ryan et al., “The Taphonomy of a *Centrosaurus* (Ornithischia: Cer[a]topsidae) Bone Bed from the Dinosaur Park Formation (Upper

Campanian), Alberta, Canada, with Comments on Cranial Ontogeny," *PALAIOS* 16 (2001): 482–506.

[4] See Roland T. Bird, *Bones for Barnum Brown: Adventures of a Dinosaur Hunter* (Fort Worth: Texas Christian University Press, 1985).

[5] Rihui Li et al., "Behavioral and Faunal Implications of Early Cretaceous Deinonychosaur Trackways from China," *Naturwissenschaften* 95, no. 2 (2008):185–191, doi: 10.1007/s00114-007-0310-7; Alexander Mudroch et al., "Didactyl Tracks of Paravian Theropods (Maniraptora) from the Middle Jurassic of Africa," *PLoS ONE* 6, no. 2 (2011): e14642, doi: 10.1371/journal.pone.0014642.

[6] William Buckland, *Geology and Mineralogy Considered with Reference to Natural Theology* (London: William Pickering, 1837).

[7] Kenneth Carpenter et al. "Evidence for Predator-Prey Relationships: Examples for *Allosaurus* and *Stegosaurus*," in *The Carnivorous Dinosaurs*, ed. K. Carpenter (Bloomington: Indiana University Press, 2005), 325.

[8] Andrew A. Farke, "Horn Use in Triceratops (Dinosauria: Ceratopsidae): Testing Behavioral Hypotheses Using Scale Models," *Palaeontologia Electronica* (2004).

[9] Richard S. Lull, "Restoration of the Horned Dinosaur *Diceratops*," *The American Journal of Science* 4, no. 4 (1905): 420–422.

[10] A. A. Farke, Ewan D. S. Wolff, and Darren H. Tanke, "Evidence of Combat in *Triceratops*," *PLoS ONE* 4, no. 1 (2009): e4252, doi: 10.1371/journal.pone. 0004252.

[11] Mark B. Goodwin and John R. Horner, "Cranial Histology of *Pachycephalosaurs* (Ornithischia: Marginocephalia) Reveals Transitory Structures Inconsistent with Head-Butting Behavior," *Paleobiology* 30, no. 2 (2004): 253–267, doi: 10.1666/0094-8373(2004)030<0253:CHOPOM> 2.0.CO;2; J. R. Horner and M. B. Goodwin, "Extreme Cranial Ontogeny in the Upper Cretaceous Dinosaur *Pachycephalosaurus*," *PLoS ONE* 4, no. 10 (2009): e7626, doi: 10.1371/journal.pone.0007626.

[12] J. E. Peterson and Christopher P. Vittore, "Cranial Pathologies in a Specimen of Pachycephalosaurus," *PLoS ONE* 7, no. 4 (2012): e36227, doi: 10.1371/journal.pone.0036227.

第七章

# 恐龙的羽毛

我有时候会对恐龙骨骼产生自私的念头。虽然恐龙展品广受欢迎让我备感激动，但络绎不绝的学生和一波波推着婴儿车的家长挤进展厅狭窄的通道，这画面也让我非常不安。在高峰期的恐龙展馆里，小孩子满地乱跑，你得身手了得才能躲开他们。更不用说基本上没人会看博物馆的标牌——反正有尖牙的掠食者都是暴龙，每只巨大的蜥脚类都是“雷龙”。我想挤进去跟他们讲讲正确的名字，但每次这么做时都会被人怒目而视。还是乖乖闭嘴吧，让他们好好享受身处化石明星之间的美好时光。“淡定，”我提醒着自己，“……你也不过是一个长大了的狂热恐龙粉丝。”

我常在犹他州自然史博物馆古生物实验室的长椅上，看着如潮游客来来往往。在一排高大的玻璃窗后面，我和其他志愿者以及技工穿梭于堆满化石和史前岩石的桌子之间，在众目睽睽之下展示着科学工作。我的工作是从没处理过的化石上一小片一小片地去除砂岩。有时候正当我正全神贯注于工作时，一群小孩子会为了看个清楚而猛扑到玻璃上，那砰的一声巨响连剔除岩石的气动雕刻笔发出的噪音都能盖过。他们都兴奋无比，直到发现清理死恐龙其实是一个让人痛不欲生的工作，一场在你与包裹骨骼的围岩之间的战争——一毫米一毫米推进。

在博物馆人潮退去的某些午后，我会花几分钟在展厅里漫步。广阔昏暗空间里的静谧让我想起了在纽约初遇大恐龙时的经历。骨骼展厅是少数几个能让我心无旁骛的地方，收起智能手机，一边走过一群正踮着脚尖凝视巨大重龙那滑稽长脖子的异特龙，一边让心思自由徜徉。身处恐龙之间让我感到无拘无束。

在这样的时刻，我就会情不自禁地遐想起它们生前的模样。恐龙奇异的美丽骨骼在生前支撑着血肉之躯，这也是我今日幻梦的起航之处。粗糙的恐龙皮肤留下了化石印痕，为恐龙的样貌提供了一点儿线索，但那只是铺下了基础。恐龙的颜色也是一个问题。我可以想象着给博物馆里长有诸多尖角的犹他角龙画上圆点花纹，但我怀疑这家伙在现实里没有这么显眼。而传统观念里的褐绿色或灰色又不是很吸引人。或许角龙类的色彩和今天的非洲羚羊相差不远。比如紫羚羊，它们土黄的底色上点缀着黑色斑块和白色细条纹。反正，想象中的色彩随时都能修改。

当我还是小孩子时，书籍和博物馆展品都说迷惑龙及其同类的颜色是个撩人但又无从解答的问题。这个谜题既让人沮丧，又无比诱人。而据我所知，“恐龙是什么颜色的？”仍旧是古生物学家经常关注的问题。有很长一段时间，我们对此毫无头绪。因此，不论是作画还是制作让我初见时吓了一跳的电动恐龙，艺术家可以自由选择他们喜欢的色彩，而不用担心会被科学界指责。

我在为古生物学家彼得·多德森绘制恐龙图画时就利用了这一点，那时候我还是个恐龙小粉丝。父亲说要带我去听多德森在本地图书馆的讲座。多让人迫不及待啊，我有机会打动真正的古生物学家啦！他会为我打开梦幻藏品和满地化石的发掘点的大门！我花了一下午来画恐龙，包括一只特别难看的、多角的戟龙。这种恐龙的身体结构和三角龙一样，但头部完全不同——它们长着长长的鼻角和短短的眉角，

还有一排恐怖的棘刺从颈盾伸出来。我还用不堪入目的颜色让这只骄傲的恐龙更显尊荣。角龙的喙部给了我金刚鹦鹉的感觉，因此我为它的身体选择了消防车的红色，然后我又在眼睛周围添上几抹黑白。这次上色始于眼睛，但一下笔我就深感悔恨。算了吧，谁知道会怎么样呢？那晚的晚些时候我给多德森看了艳丽的恐龙。他没放声大笑让我永远心怀感激。

在我还是孩子的 20 世纪 80 年代，恐龙可能身披奇异色彩还是个比较新奇的观点，它以恐龙可能比我们想象的更像鸟类这个理论为依据。在那之前的传统看法认为，恐龙的颜色严肃而黯淡。约定俗成的颜色是橄榄绿和泥棕色。就连电影里应该凶暴活跃的恐龙都长着比宠物店里蜥蜴还灰暗的带鳞外皮。《金刚》中滑稽的肉食性“雷龙”（说到这个，骷髅岛上的其他中生代动物也都吃肉）是活跃在我家周末电影重播活动里的灰色凶兽。早期电影只能使用这种灰度。但彩色影视时代的恐龙依然灰暗。在雷・哈里豪森（Ray Harryhausen）1966 年的作品《史前一百万年》里，时代错乱的三角龙和角鼻龙都是棕灰相间的；而在 1985 年的《小恐龙历险记》中，“雷龙”家族则披着一身炭色。就连《侏罗纪公园》的恐龙明星也采用了最平凡的形象，而当时距恐龙文艺复兴艺让术家和科学家开始认真对待恐龙的色彩已经过去了 20 年。斯蒂芬・斯皮尔伯格明显更喜欢经典的好莱坞怪兽，而不想参考最精准的恐龙研究成果。杰克・霍纳曾是恐龙大片的古生物学顾问。他告诉我，斯皮尔伯格觉得“彩色恐龙吓不倒观众”，所以导演对恐龙的形象有硬性要求。

《侏罗纪公园》上映的时候，呆滞的恐龙已经是陈年往事。它们其实类似鸟类且非常活跃，这个理论让恐龙艺术家发现恐龙的颜色具有各种可能性。有些绘制史前插图的画家毫不纠结地天马行空起来：他们给恐爪龙披上了荧光色，把它们打扮成了白垩纪的辛迪・劳珀（Cyndi

Lauper)。不过大部分艺术家选择在身边的自然界里寻找恐龙颜色的线索。古生物画家格雷戈里·S. 保罗在经典著作《全球掠食性恐龙》中列出了几条给恐龙上色的规矩。[1]“大型现生爬行动物、鸟类和哺乳动物都没有小型爬行动物和鸟类鲜艳，”他写道，“因此我们可以假设大型掠食性恐龙也比较内敛。在人类看来，这种色彩具有与恐龙的体型和力量相称的肃穆感。”保罗指出，吻部周围有虹彩般的条纹、圆点或斑片尽管可以接受，但更黯淡些的配色还是最切实际。

但恐龙的颜色现在不再仅靠推测或任由艺术品味决定。现生恐龙和化石都具有醒目的羽毛，这为史前历史的研究提供了绝无仅有的机会。解决整个谜题的关键正是这样一个简单美丽事实，而它不可逆转地改变了我们看待恐龙的方式。那就是：鸟类就是恐龙。恐龙谱系只仅存一支，而在我窗外从喂食器里吮吸食物的小蜂鸟就是其中一员。这个想法似乎有些奇怪，但又确凿无疑：恐龙时代仍在继续。鸟类其实是唯一挺过白垩纪末期大灭绝的恐龙血脉。科学家花了超过一个世纪的时间才对此达成共识。现在我们不妨回顾一下这段漫长争论的历史，看它如何帮助我们理解我们已灭绝的恐龙朋友究竟长什么样。

古生物学家对鸟类起源的讨论里总会涉及一个关键化石——始祖鸟。第一具化石于 1861 年在德国的石灰石采石场里为人发现，其中包括一片羽毛和部分有羽毛的骨架。这种爬行动物和鸟类的混合特征是各种鸟类起源理论的基石。不过最近发现的大量批羽恐龙让古生物学家开始重新思考起始祖鸟的本质。

我还清楚地记得，当始祖鸟在演化史上的标志性地位险遭降级时，自己身处何方。那时我停在蒙大拿州一个前不着村后不着店的加油站里，等着租来的 SUV 加满油，好继续从偏僻小镇伊卡拉卡（我一直在那里和古生物学家托马斯·卡尔、斯科特·威廉姆斯以及他们的野外

团队一起寻找恐龙）到怀俄明州瑟莫波利斯的旅行。去便利店里为七小时旅程买了必备的零食和咖啡因之后，我检查了一下邮件，想看看野外工作有没有让我错过什么重大发现。恐龙研究领域里涌现新成果的速度超乎你想象。

邮件一封封进入收件箱，大部分都是垃圾邮件。不过内容总是丰富的恐龙邮件列表里出现了一大串信息，标题是“格雷戈里·保罗又对了；或者‘始祖鸟不是鸟类’”。这个标题提到了古生物画家保罗和其他人多年前提出的一个观点，即始祖鸟并非已知最古老的鸟类，而是各类批羽恐龙中的一种，它们与著名掠食者恐爪龙和伶盗龙的关系更为密切。多年以来，大家都没有为探讨这个观点投入太多热情。但那个下午发表在《自然》上的一篇论文撼动了鸟类族谱，把始祖鸟踢进了非鸟恐龙的行列。

我埋怨着在这个临时停车的地方没法读到论文。不过既然加油站里只有我一个人，我也就心安理得地又花了几分钟浏览一下新闻媒体对这个理论的看法。要说还有什么能比君王暴龙更讨记者欢心，那就是宣称自己推翻了恐龙学里广为接受的理论这类故事了。有关这个研究的几篇文章都没有让人失望。一篇报道表示“有争议的新研究让‘最古老的鸟类’始祖鸟地位不保”。另一篇报道则用“新发现的恐龙或可推翻‘最早的鸟类’这一理论”这种标题引诱着反演化论者，但文章本身只是东拉西扯了一通始祖鸟的花边新闻，还提到了一种新发现的批羽恐龙——晓廷龙。

显然，在分析过晓廷龙的演化关系之后，古生物学家徐星和他的同事发现晓廷龙和始祖鸟都更接近有羽毛的非鸟恐龙，比如伶盗龙。而人们以前知之甚少的奇异的恐龙，比如耀龙——一种长有缎带样羽毛和前倾牙齿的小型兽脚类恐龙，反而在新的演化树上离鸟类的祖先更近。

当时可以说是得知这个消息的最佳时机，也可以说是最糟糕的时机，端看你怎么看。我之所以要去瑟莫波利斯——怀俄明州中部一个因温泉而出名的小地方，完全是为了观看美国唯一的始祖鸟化石。如果报道属实，那就意味着在我只差几小时便要达到目的地的时候，始祖鸟失去了曾经的光环。“开什么玩笑啊。”我一边想着一边把车开出了加油站，开始了漫长的州际旅行。

迄今为止,所有的始祖鸟标本——从 1861 年赋予始祖鸟名字的那片羽毛，到 2011 年发现的第十一具标本——都来自于德国南部。我要去参观的那一具是出土较晚的化石，我们很快就会说到它。所有始祖鸟骨骼都保存在石灰岩石板里。约 1.5 亿万年前，古海洋覆盖了欧洲的大部分土地,侏罗纪时期沉入海底的生命就记录在了石灰石岩层里。采石场里发现过甲壳类、鱼类、翼龙、小型恐龙和其他生物的化石，但其中最珍贵的当数印石板始祖鸟。这些保存得极为清晰的化石展示了始祖鸟的骨骼解剖学结构，而且很多标本中还留下了羽毛的印痕。因此第一具始祖鸟骨骼的发现造成了极大轰动。

这个被称为“伦敦标本”的生物具有类似某种恐龙的解剖学结构，而始祖鸟又明显长有羽毛。维多利亚时代的演化论者刚在 1859 年卷入了查尔斯 · 达尔文的《物种起源》之争，他们为这种证明了一种生物的确有可能转化成另一种生物的动物而暗自欣喜。古生物学者休斯 ·福尔克纳在一封私人信件里就说，始祖鸟是“达尔文的奇怪生物”。[2] 理查德 · 欧文（正是他为今天的伦敦自然史博物馆获得了第一具始祖鸟骨骼标本）认为，始祖鸟“从化石来看是已知最古老的批羽脊椎动物”，是最古老的鸟类。[3]

欧文对博物馆典藏的雄心壮志让他把始祖鸟带到了英国。他渴望让举世无双的耀眼化石位列自家收藏，而且成功说服了博物馆为这具德国化石掏了腰包。国宝级化石就如此轻易地落到了外国科学家手中，

等大家都明白过来早期鸟类有多么重要时，德国的古生物学家简直心如刀绞。第二具始祖鸟化石——柏林标本，也是有史以来最美丽的标本——险些卖给了重洋之外耶鲁大学的马什。难以分辨的哈勒姆标本——1970 年以前人们一直以为它是翼龙化石——则存于荷兰的泰勒斯博物馆。除了两具标本，其他标本都留在了德国。如果你在美国看到了始祖鸟化石,那有可能只是化石模型……除非你在怀俄明州中部。

你绝对没法从瑟莫波利斯的外表看出来当地会有始祖鸟这样珍贵的化石。公路上指向这偏远小镇的路标都已褪色。怀俄明恐龙中心和“狩猎屋”的广告在路标上平分秋色。狩猎屋是一家餐厅，开在镇上贵死人的戴斯酒店里。餐厅里面装饰着大型动物猎人送来的猎物标本。只要在主干道的街角上看到金属异特龙骨架仿佛在对过往车辆怒吼，那就说明你即将到达当地的恐龙展厅。

我沿着城郊的街道来到博物馆外面的碎石停车场，一心想要摆脱烈日，赶紧进入陈列着著名化石的凉爽屋子。怀俄明恐龙中心的建筑风格就跟我小学时看过的无聊恐龙一样平凡。没有窗户、圆柱、雕塑，说真的，几乎什么都没有。灰色的房子上用绿色颜料写的“怀俄明恐龙中心”几个字已变得深浅不一。整栋房子都炙烤在八月午后的酷热里。我付了十块门票钱，并在一位看上去有些不开心的年轻姑娘导引下来到通往展品的走廊。

虽然名号是恐龙中心,但这里也展示着各种其他史前动物。当然，最吸引人的还是恐龙，正是它们让参观者打起精神走过陈列着无脊椎动物和鱼类化石的走廊。我在路上注意到左边有一块巨大的石板，上面挤着煎饼大小的古代似鲎节肢动物——三叶虫。旁边的架子上展示着身体类似蠕虫、脸似鼻子的无脊椎动物——塔利怪物（人们一度以为它就是尼斯湖怪）。还有一个陈列着一群早期四足动物的小壁龛，那是 3.75 亿年前第一批爬上陆地的两栖脊椎动物。之后终于轮到恐龙登

场。部分展品是如假包换的化石，剩下的都是模型。一想到要拼好史前动物那沉重宝贵的骨架是多么困难的工作，这也就不足为奇了。

我开了一早上车可不是为看玻璃纤维恐龙，我要真家伙，现在总算得偿所愿。防护玻璃板后面便是躺在石灰石坟墓里的瑟莫波利斯始祖鸟。乌鸦大小的骨骼有一副奇怪的姿势，仿佛这只恐龙从自行车上往后摔了下去——它双腿大张，头朝后仰，双臂位于身体两侧，周围布满了淡淡的羽毛印痕。小小的恐龙骨骼具有与凶残的伶盗龙相似的解剖结构，但大量羽毛又让始祖鸟化石的特征展现出微妙的不同。我花了一点时间凝视化石，沿着它细长的脚趾和干瘦双腿一路打量到扭曲的脊柱，又继续往上看到了叉骨，这根骨头依然留在鸟一样的肩带之间。一位魁梧的男人和他浅金色头发的儿子慢慢走了过去，他们都身穿装饰着心爱球队标志的衣服，也都没怎么注意到这块小石板。单脊龙用后弯利齿撕咬长脖子巧龙身体的精彩场景显然更有意思，也更有“可怕蜥蜴”的味道。

他们根本不知道自己错过了什么！我一边做着骨架的白日梦，一边思索起这具化石为什么会屈就于这样一个偏僻小镇。我以为离开德国的化石应该在东边声名显赫的博物馆里受人瞻仰：芝加哥自然史博物馆、纽约的美国自然史博物馆或者匹兹堡的卡内基自然史博物馆。始祖鸟怎么就沦落到了这个地方？

其实没人知道这具标本究竟是在何时何地为人发现的。[4]据说它于20世纪70年代某个时候被发现，在2001年之前一直都是私人藏品。当时一位瑞士收藏家的遗孀想把它卖给位于德国法兰克福的森肯伯格自然博物馆。但博物馆没有接受。到了2005年，怀俄明恐龙中心的伯克哈特·波尔（Burkhard Pohl）和她达成协议，将化石长期租借给这个私人博物馆。虽然德国大部分的联邦州都有《历史遗迹保护法》对化石施加一定程度的保护，但巴伐利亚州（始祖鸟化石出土之地）没

有这种法律。因此，不论眼看标本流落于远离家乡的商业机构是何等令人痛心，将它出口到瑞士和美国的行径依然完全合法。化石法规的疏失让多少国家的史前遗产惨遭劫掠。

要是早一天来博物馆，那我就不会对所见之物多加考虑，而始祖鸟在我心中依然是 150 年来鸟类起源的关键。至于它是不是后期鸟类的直接祖先并不重要，毕竟作为最早的鸟类，这种批羽恐龙代表着鸟类最初的形态。但现在，我开始怀疑起始祖鸟真正的身份。玻璃后面的动物果真是古代鸟类吗？或者它不过是藏在美丽羽毛后面的恐龙？

我也知道在探索鸟类演化史的过程中，始祖鸟一直是争论的焦点。即使在刚发现第一具化石且理查德·欧文宣称它是鸟类始祖的时代，其他博物学家也并不都认同这个观点。达尔文的朋友和热心的捍卫者托马斯·亨利·赫胥黎认为始祖鸟是跟鸟类起源基本没有关系的古怪动物。受德国生物学家恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel）迂回演化学说的影响，他提出现生鸟类的起源有三个过程，首先是出现类似小型恐龙美颌龙的生物。美颌龙这种小型兽脚类和始祖鸟保存在同样的沉积层中。赫胥黎写道：“没有证据表明美颌龙拥有羽毛，但如果情况确实如此，那我们就很难确定应该将它们称为爬行类鸟类还是鸟类爬行类。”

虽然时常有人宣称是赫胥黎提出了鸟类直接演化自某种已知的恐龙，但这并不是事实。他认为是具有美颌龙形态的生物演化成了类似鸸鹋的无飞翔能力鸟类。始祖鸟只是演化中一个小插曲，表明鸟类可以拥有爬行动物的特征，但赫胥黎的理论里没有它的容身之处。

科学时常充满争议，赫胥黎的看法也未能获得所有人的一致认同。塞缪尔·威利斯顿（Samuel Williston）、弗朗茨·诺普斯卡（Franz Nopsca）和马什等古生物学家提出了鸟类的确起源于恐龙的假设。真正的问题在于到底哪种恐龙才是它们的祖先。一些机构青睐和

鸟类相似的小型兽脚类恐龙，也有人认为棱齿龙等鸟臀类恐龙才是真正的鸟类祖先，因为它们具有类似鸟类的腰带。还有的博物学家博众家之长发展了自己的理论：某些鸟类可能来自恐龙，其他则另有先祖。不过理查德·欧文和哈里·戈维尔·西利坚称鸟类是翼龙的后代。翼龙也是主龙类动物，凭借伸展的皮膜和长长的手指翱翔天际。赫胥黎和其他博物学家对此进行了反驳，他们认为将鸟类和翼龙联系起来的特征是相似生活方式导致的趋同。但谁也不能确定鸟类真正的演化方式。虽然赫胥黎持有异议，但始祖鸟还是成为了爬行动物演化成鸟类这一过程中的关键。所有有关鸟类起源的理论都没法避开始祖鸟。

即使古生物学家都同意始祖鸟是最古老的鸟类，但它们源自何种爬行动物也是一个谜题。苏格兰古生物学家罗伯特·布鲁姆（Robert Broom）在 1913 年就恐龙、翼龙、始祖鸟和其他鸟类为何具有共同特征这个问题提出了一个理论。在翼龙和恐龙时代尚未开始的三叠纪之初，鳄类的远古表亲统治着地球。其中的派克鳄是一种两足肉食性鳄类亲眷，它们历史悠久、分布广泛，足以成为恐龙、翼龙和鸟类的共同祖先。如果这三种动物具有常见且特化程度不高的共同起源，那么它们身负难以区分的特点也就不足为奇了。

直到 20 世纪早期的一位艺术家着手研究鸟类起源之后，大家才认为这个问题得到了答案。格哈德·海尔曼（Gerhard Heilmann）是一位技术精湛的插画家，也是一位业余古生物学家。他在 1926 年出版了《鸟类起源》的英文版，这是他最初以德文写就的一系列文章。这本书堪称宝藏，我运气不错，几年前找到了一本。光滑的书页上全是鸟类和恐龙骨架的详细对比图案，海尔曼还画了几只动作活跃的恐龙，比如奔驰在白垩纪原野上的一对禽龙。海尔曼的科学依据和他的笔触一样优秀。虽然他承认部分恐龙和鸟类相似，但他也认为有一个特征否定了恐龙是鸟类祖先的可能性。准确来说，是恐龙缺乏某个关键特征。

海尔曼知道鸟类具有如愿骨，也就是被称为叉骨的改良锁骨。但恐龙都没有这种骨骼。它们似乎在演化中失去了锁骨，而一个特征失去之后就不会再次出现，所以海尔曼推断鸟类不可能是恐龙的后代。和鸟类相似度仅次于恐龙且具有锁骨的生物包括派克鳄及其鳄类亲眷，因此海尔曼认为鸟类和恐龙具有诸多共同特征的原因是它们演化自同一个祖先。

古生物学家被海尔曼的论证所折服，于是忽视了恐龙其实长有锁骨这个事实！在 1924 年发表的窃蛋龙描述里，我们可以清楚地看到一副骨骼图里的如愿骨。小型兽脚类斯基龙骨骸里也找到了一块如愿骨。这种恐龙发现于 1936 年，它的骨架呈类似鸟类栖息的蜷伏形态。但海尔曼的假设根深蒂固，让古生物学家没有注意到恐龙的锁骨。鸟类和恐龙相互独立地演化自同一鳄类祖先这个假设一直深入人心，直到争论中出现了一只利爪恐龙。

1969 年，耶鲁的古生物学家约翰·奥斯特罗姆根据蒙大拿州一个遍布不完整骨骼化石的采石场里的发现命名了平衡恐爪龙。这种恐龙具有可以抓握的手部，直挺挺的长尾巴。而最显眼的地方是可以极度伸展的脚趾，它能够将“可怕的爪子”猛插进猎物的身体。它们显然是灵敏活跃的掠食者。恐爪龙类似乎与传统观念中住在沼泽地里愚蠢的恐龙截然不同，比如奥斯特罗姆本人为 1964 年世界博览会辛克莱馆设计的恐龙。不过这种恐龙的骨骼特征算不上破天荒的发现。恐爪龙类和鸟类十分相似，奥斯特罗姆很快就意识到了他新发现的掠食者与始祖鸟之间的相似性。鸟类的恐龙元祖再次一爪子抓回了科学界的关注。

*

鸟类是恐龙后裔这个观点彻底改变了我们对恐龙的看法。如果现生鸟类就是恐龙，而恐龙也类似于鸟类，那么长久以来有关恐龙生物

学的假设无疑就是错误的。或许不是所有恐龙都像喜鹊一样蹦蹦跳跳或像鸵鸟一样优雅地奔跑，但始祖鸟和恐爪龙之间的联系表明，恐龙早已萌发了部分鸟类特征，比如高度活跃的代谢、温暖的身体，甚至羽毛。

奥斯特罗姆的学生和恐龙文艺复兴的推动者罗伯特·巴克于1975年发表了一篇文章，其中包括了三叠纪合踝龙羽毛样鳞片和头部羽冠的复原图像。[5]他将其作为改良版鸟类恐龙假说的推测性证据。同时，巴克也发现这种观点对恐龙粉丝来说具有“让人格外愉悦的意义”：“恐龙没有灭绝，多彩而成功的现生鸟类数不胜数，它们依然维系着基本的恐龙生物学。”

我在年轻时如饥似渴观看的纪录片便采纳了奥斯特罗姆和巴克的观点。我的最爱之一是PBS电视台的《恐龙们!》。（20世纪80年代晚期和90年代早期的史前明星纪录片一般都会在恐龙后面接上感叹号，它们急不可耐地要大声喊出自己的内涵，比如《恐龙!》、《恐龙们!》，还有《恐龙！恐龙！恐龙!》。）PBS在感恩节的时候一口气放完了四集《恐龙们!》，给了我几小时愉快的恐龙时光。而楼下还有一只为传统佳节准备的恐龙，它在涂好调料、填满馅料之后被塞进了烤箱。纪录片里有一集着重介绍了恐龙和鸟类之间的关键联系，画面上有一只小小的绿色恐龙（大概是美颌龙）在远古森林里奔跑。这种长着鸡腿的动物在爬上树木时迅速长出羽毛，更加自信地昂首阔步，然后跳向天空变成了现代的鹈鹕。

PBS电视台《无尽旅程》中的一集做出了更详细的介绍。里面有一只非常毛茸茸的透明恐爪龙，它显示出了头部、上臂、腰带和腿部的关键骨骼。它在奔跑的时候渐渐变成了始祖鸟，最后像鹤一样一飞冲天。现生鸟类和恐爪龙之类的生物在外表上可能天差地别，但它们的骨架并没有那么多不同。

虽然纪录片做出了调整,但我还是认为披羽恐龙看起来傻乎乎的。恐龙就应该长得阴险粗糙，而羽毛让伶盗龙看起来像大母鸡。礼品店里的绒毛恐龙对我毫无吸引力。这么可爱的东西怎么可能是掠食行家。《侏罗纪公园》将橄榄绿的有鳞肉食者形象深植在我年幼的心灵中，直到现在我还是会为有些特别不着调的批羽恐龙深感尴尬。最不堪入目的恐龙模型位于拉斯维加斯，那是一只粘上羽毛的恐爪龙，简直就是治愈乐队里罗伯特·史密斯的白垩纪版本。对于羽毛取代了皮肤鳞片的新恐龙形象来说，这路货色在传播中的作用可能弊大于利。但不管我喜欢与否，很多恐龙就是长着绒毛和羽毛。

羽毛的演化历史十分悠久。它们的踪迹远早于鸟类诞生，甚至能够追溯到恐龙初露头角的时代。实际上，过去 15 年里发现的大量化石毋庸置疑地表明,大部分恐龙的身体上都覆盖着某种类似羽毛的结构。



目前已经发现了三十多种长有羽毛的非鸟恐龙，小盗龙就是其中之一（白色箭头指出了这只恐龙的羽毛，黑色箭头指向更细微的羽毛痕迹，只能在紫外灯下查看）。通过研究小盗龙羽毛的显微结构，古生物学家甚至发现它们具有黑色的光滑羽毛。它们在生前类似于长牙的乌鸦。（图片来自 www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0009223）

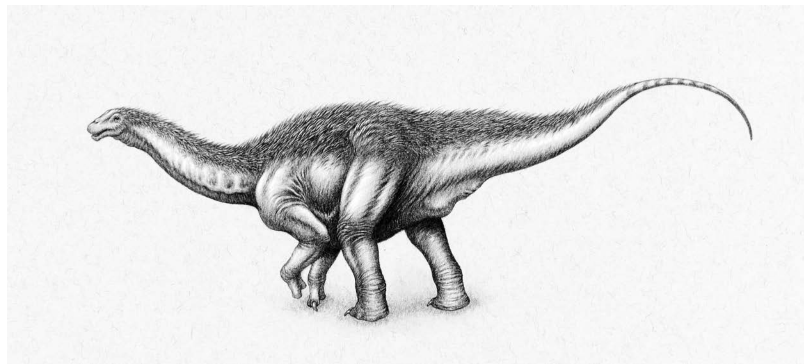
首次发现的绒毛恐龙让古生物学家如痴如醉。在古脊椎动物学会1996年年会上，与会者纷纷传阅一张小化石的照片，化石的背部和尾部有一撮绒毛。约翰·奥斯特罗姆，这位复兴鸟类即恐龙这一观点的主要推动者，在听到这个消息后“备感震惊”。[6]在漫长的等待之后，终于出现了真正的非鸟批羽恐龙。当年的一篇论文将这种生物称为中华龙鸟，但它没有适合飞行的羽毛。体表简单的绒毛可能只是用于炫耀和保暖，它们不具备现生鸟类特化且对称的飞羽。实际上，它们和赫胥黎假设的批羽美颌龙十分相似。这种新发现的恐龙支持了以下假说：羽毛最初的用途并不是飞行，它们是为了其他目的而演化的，只是后来具备了新的功能。

此后人们发现了至少30种不同的批羽非鸟恐龙，其中一些和“鸟类的相似度更高”。大约生活在1.6亿年前的近鸟龙是一种鸽子大小的恐龙，它们的四肢上长有修长的羽毛，这可能是处于纯陆生恐龙和早期飞行者之间的中间形态。伶盗龙这种火鸡大小的掠食者基本上不可能具有飞行能力，但就连它们都在前肢上长有长羽毛——这是通过前肢骨骼上保存的羽茎瘤做出的推测。如果将来会有《侏罗纪公园4》，而伶盗龙仍有一席之地的话，那它们应该披上更华丽的羽毛，终结斯蒂芬·斯皮尔伯格的趣味。

就连和鸟类起源更无关系的古怪恐龙也长着装饰性的羽毛样结构。意外北票龙——圆肚子、长爪子、长脖子、头骨上有比起切肉更适合切割植物的喙部——分化出了两层简单的长羽。暴龙也身披羽毛，而较小的帝龙和更凶暴、身达九米的羽暴龙都具有丝状绒毛。多亏这些发现，我们才能明白君王暴龙可能也是羽毛巨物，这个观点肯定会让传统恐龙的拥护者暴跳如雷。[7]

长有羽毛的不光是鸟类以及和它们亲缘关系最近的非鸟祖先。鸟类不过是兽脚类中虚骨龙类的一个分支。虚骨龙类中的每个种群都至

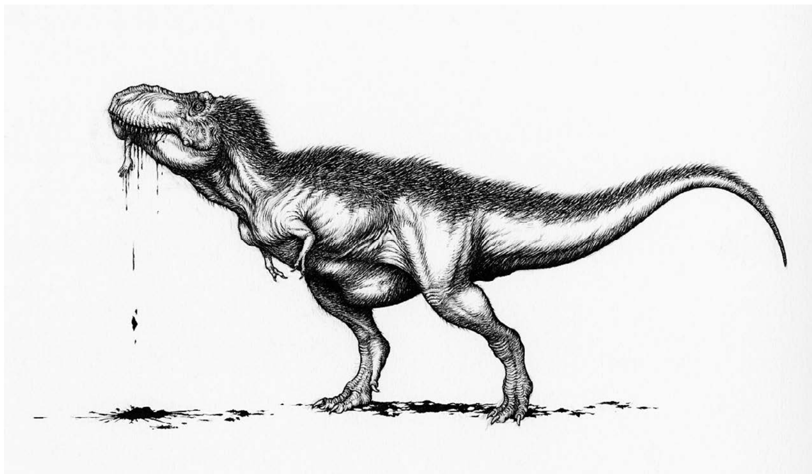
少有一个长着绒毛或成熟羽毛的代表。另外，我们现在还发现羽毛在恐龙中非常普遍。两种在演化树上距离鸟类极远的恐龙，也具有和简单羽毛极为相似的体表结构。[8]一种是鹦鹉嘴龙，它们看起来像是在角龙类的身体上安了个鹦鹉脑袋，而且具有沿尾部生长的鬃毛。虽然身体的大部分地方都覆盖着鳞片，但这种鬃毛和兽脚类恐龙身上的绒毛非常相像。另一种恐龙是天宇龙，它们的背部长有一排类似鹦鹉嘴龙的装饰性鬃毛。这种鸟臀类恐龙在演化树上的位置与虚骨龙截然相反。恐龙系谱中向不同方向演化的恐龙都有羽毛或羽毛样体表结构，可见绒毛和鬃毛可能是恐龙的共同特征，且继承自所有恐龙最后的共同祖先。有研究者在 2012 年描述了一只长有绒毛的幼年似松鼠龙，这种恐龙位于兽脚类系谱的底层，与鸟类相距甚远。[9]它又一次为原始羽毛在恐龙中十分普遍这个论点提供了证据。可能大多数恐龙种群都具有绒毛，包括体型惊人的蜥脚类恐龙。（想想看，毛茸茸的小迷惑龙该有多可爱。）



虽然尚无直接证据，但诸多恐龙的部分身体上都长有原始羽毛，这个发现表明部分蜥脚类恐龙可能也长有毛，比如这只小迷惑龙。（尼罗特·希马潘绘）

因此只剩下两种可能性：其一，同样的简单丝羽一次又一次地演化出来；其二，恐龙绒毛是一种存在于所有恐龙中的古老特征。说完这句话，我都要听到鳞片暴龙的粉丝们要哀泣了。

经过分类的各式史前羽毛勾勒出了羽毛的演化过程。基于截止我撰写本书时古生物学家对于羽毛的认识，它们始于绒毛，并在适当的时候变成了让部分恐龙飞上天空的复杂结构。原始羽毛是简单的单根丝羽，比如鹦鹉嘴龙、天宇龙和似松鼠龙的鬃毛。早期虚骨龙类——诸如中华龙鸟的灵敏小恐龙，最先被证明身上存在绒毛——则具有稍微复杂一些的体表结构。它们的原始羽毛的轴上发出了多个分支。这种羽毛与窃蛋龙（长有喙部的杂食性恐龙，已经和鸟类非常相似）以及部分真正早期鸟类的羽毛有一定相似之处。（一些批羽恐龙和早期鸟类同时具有多种羽毛，现生鸟类也是如此。）



就连君王暴龙都可能是毛茸茸的动物。虽然鳞片暴龙粉丝对此不满，但绒毛并不会折损这些掠食者的威风。（尼罗特・希马潘绘）

在羽毛的下一个演化阶段中，每根丝羽都沿中心轴进一步发出分支。在小盗龙等恐龙和最初的鸟类中，单独的丝羽最终形成了沿中心羽片成型的真正叶状羽毛。部分此类羽毛，比如见于没有飞翔能力的驰龙的，还是没能让恐龙离开地面。而可飞行恐龙——比如始祖鸟和有四只翅膀的小盗龙——则具有特化的、更符合空气动力学且前缘更薄的羽毛。这样的羽毛最终将恐龙带向天际。羽毛最初是保暖绒毛和华丽的装饰，但至少有一个族群演化出了让它们成为恐龙中唯一飞行者的羽毛。不论始祖鸟的本质是什么，科学发现的推进都越来越强有力地证明恐龙类似于鸟类，而且鸟类恐龙和它们的非鸟祖先之间存在着不可分割的联系。

恐龙和鸟类的联系不仅限于鸟类起源。我们仍可研究现生恐龙一事影响着很多奇妙的恐龙生物学新发现。山雀不是甲龙，鸸鹋也不是梁龙，但今天的鸟类有助于古生物学家细化有关恐龙生活的疑问和观点。最棒的是，鸟类恐龙最终能够帮助我们全面了解它们已灭绝的亲属。

正如查尔斯·达尔文所说："无知比智慧更能让人产生信心：知之甚少的人会断然宣称科学没法解决这样那样的问题，饱学之士则不会如此。"[10]他当时考虑的是人类的起源，一个被难以捉摸的证据和武断的宗教非难所困扰的谜题。但这句话也同样适用于恐龙的颜色。我们面对的问题不是完全没有证据，而是逐步进展的科学研究最近才发现应该从哪里入手寻找关键线索。

想起达尔文这段话的时候，我正在拉斯维加斯等待古脊椎动物学会 2011 年年会的开幕研讨会——拉斯维加斯对恐龙大会来说可算是个豪华场地。百利酒店一刻不停的灯光和喧闹让我非常紧张，但我容忍了抽雪茄的赌徒和街上一直吵到凌晨的风笛艺人，因为这里有那么

一会儿是古生物学前沿信息的天堂。我整整一年都在期待野外和实验室里的新发现，特别是布朗大学研究生瑞安・卡尼的成果。他致力于研究第一只始祖鸟标本真正的颜色，也就是150年前的那片羽毛。

在还差几分钟就要开始展示的时候，古生物画家罗伯特・沃尔特斯坐到了我的左边，打开笔记本严阵以待。我开玩笑地问他是不是对古生物学家跑到他的领域里告诉他该用什么颜色才好的事情生气了。沃尔特斯一脸震惊的样子："怎么会呢！"他表示，像自己这样的艺术家一直都在等待科学界给出恐龙颜色的线索，现在古生物学家终于要让他们如愿以偿了。

卡尼走上讲台之后马上切入正题，讲起了研究团队的新发现。始祖鸟的羽毛是黑色的，但无法判断它是否全身漆黑。[11]他们之所以选择这片羽毛作为研究对象，是因为它是举世闻名的标本，而且那年正逢广受喜爱的始祖鸟命名150周年。这个研究最终为世界上最著名的化石之一添上了色彩。

卡尼及其同事用来确定恐龙颜色的方法已经问世多年，而这一切都源于一只乌贼。一只很老很老的乌贼，但终究是只乌贼。雅各布・温瑟尔是耶鲁大学的分子古生物学研究生，他在用高能电子显微镜研究头足类动物化石的墨囊时发现这种膜袋里有小斑点。此前发现这个现象的古生物学家都认为它们是化石细菌，在分解远古软组织的时候遭到了石头的禁锢。但这些微观球体只存在于墨囊内部，可见事实并非如此。它们实际上是黑素体，一种小小的细胞器，其形状、密度和分布共同构成了色素。乌贼中的黑素体造就棕黑色的墨汁，以供头足类动物逃命之用。温瑟尔开始好奇其他化石里是否也有黑素体。

羽毛似乎是不错的研究对象，因为很多羽毛的颜色都由黑素体制造。如果化石羽毛中具有黑素体，那么动物学家就能通过研究现生鸟类的羽毛来阐明这种细胞器对颜色的影响，进而复原史前生物的颜色。

但在温瑟尔及其同事开始研究非鸟恐龙的羽毛之前，他们必须确定墨囊里的斑点确实是黑素体而不是细菌。他们用来自巴西白垩纪沉积层的羽毛化石证明了这一点。[12]那片羽毛具有黑白相间的条带，如果小圆点是细菌，那么它们应该遍布羽毛表面。而研究结果表明，小圆球只存在于黑色的部分，这也是应该具有色素的地方。因此科学家认为它们的确是黑素体。

温瑟尔知道这个发现也可以推广到恐龙研究中。他和他的团队指出，一种类似鸟类的有喙恐龙尾羽龙在扇形排列的尾羽上具有带状条纹，这可能代表着恐龙真正的身体纹样。但他的研究没能引起广泛关注。当时是 2008 年，人们才刚刚发现恐龙颜色的关键线索，成果只在少数读过论文的研究者中引起了波澜。不过他们没有放弃。温瑟尔在第二年又对 4700 万年前的羽毛展开了另一项研究。[13]这片羽毛发现于德国，它的主人生活在最后一只非鸟恐龙灭绝 1800 万年后的地球上，生前也曾光彩照人。

非鸟恐龙是温瑟尔的下一个研究对象。但另一个团队抢在了他的前头，这是古生物学界常有的事。2010 年 1 月 27 日，中国科学院的古生物学家张福成及其研究团队在《自然》网站上发表了一篇有关白垩纪鸟类以及非鸟恐龙颜色的来信，率先涉足非鸟恐龙的颜色。[14]除了其他标本，他们还选择了中华龙鸟的标本作为研究对象——1996 年发现的这种绒毛恐龙掀起了一股中国批羽恐龙大发现的浪潮。自获得描述起，人们就明确发现中华龙鸟尾部的原始羽毛具有条带状纹路。张福成的团队使用的样本很少，但发现较暗的部分是红棕色。中华龙鸟那糖果棍一样的毛可能是用来相互炫耀。

一周后，温瑟尔的团队不甘示弱，在《科学》上发表了一项更细致的研究。[15]他们首次完整复原了非鸟恐龙的色彩。温瑟尔、北京自然博物馆的古生物学家李全国以及他们的同事研究了近鸟龙。这种小

恐龙看似喜鹊，留下了很多约 1.6 亿年前的标本。近鸟龙以黑色为底色，四肢的羽毛上有白色条纹。但头上一簇略带红色的羽毛才是最引人注目的地方。我之前从没见过像这样的东西。近鸟龙看起来相当平淡无奇，但它又有着惊艳之处，而我们现在能够说出恐龙的颜色如何这一事实则更让这一切看上去妙不可言。

始祖鸟和近鸟龙都至少有一部分羽毛是黑色的。它们类似于现生乌鸦，而不是天堂鸟。温瑟尔及其同事研究批羽恐龙小盗龙时也发现了相近的色调。[16]通过同样的技术和一个极为完美的标本，他们发现这种带着“杀手爪”的批羽恐龙拥有复杂羽毛构成的闪亮外衣。与近鸟龙及始祖鸟一样，小盗龙以黑色调为基础，它们与乌鸦一起站在西部公路边上也不会让人觉得突兀。

一想到我们现在能够从化石中看出恐龙的颜色，我就满心欢喜。研究成果的意义远不只是为艺术家提供了选择。不论是条纹、圆点还是耀眼的羽毛，批羽恐龙都具有抓人眼球的纹理。它们是非常醒目的生物，用可爱绚烂的装饰结构相互交流。更令人激动的是，随着对更多标本的研究，我们还能发现雌雄恐龙是否具有不同的配色或独特的繁殖羽。颜色可能也是恐龙生物学中其他特征的关键线索。

到目前为止，这种技术只能用于保存有羽毛的恐龙，对诸多没有羽毛的恐龙和未能保存羽毛的批羽恐龙则无能为力。我们还在寻找方法检测和复原化学色彩，也就是很多鸟类所拥有的绿色、蓝色、橙色和黄色。至少就现在的科技水平而言，研究的前提是保存有黑素体的结构，并能将其与现代类似结构进行比较。石头里没法抽出血液，但只要找对门路，你就能发现恐龙的颜色。

全世界的博物馆里都充斥着旧骨头，我们正在让它们重焕生命。我们已经清理出了保存杂乱的标本，复原了它们的体表结构，现在又在样貌上取得了长足进展。在了解了这些之后，我们再来看下一个问题：恐

龙是怎么看待彼此的呢？鸟类可以看到光谱里的紫外线，小盗龙是不是也会互相展示我们永远无法看到的色彩？如果我们能进入恐龙的大脑，用它们的眼睛来观看世界、感受周遭，那又会是怎样一番体验？

## 注释


[1] G. S. Paul, *Predatory Dinosaurs of the World* (New York; Simon & Schuster, 1988), 126–127.

[2] H. Falconer, Letter to Darwin, January 3, 1863, Darwin Correspondence Database, www.darwinproject.ac.uk/entry-3899, accessed July 13, 2012.

[3] Richard Owen, "On the *Archaeopteryx* of von Meyer, with a Description of the Fossil Remains of a Long-Tailed Species from the Lithographic Stone of Solnhofen," *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 153 (1863): 33–47.

[4] Peter Wellnhofer, *Archaeopteryx: The Icon of Evolution*, rev. English ed., trans. Frank Haase (Munich: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 2009).

[5] Robert T. Bakker, "Dinosaur Renaissance," in *The Scientific American Book of Dinosaurs*, ed., Gregory S. Paul (New York: St. Martin's Griffin, 2003), 331–344.

[6] Malcolm Browne, "Feathery Fossil Hints Dinosaur-Bird Link," *New York Times*, October 19, 1996, www.nytimes.com/1996/10/19/us/feathery-fossil-hints-dinosaur-bird-link.html.

[7] Xing Xu et al., "A Gigantic Feathered Dinosaur from the Lower Cretaceous of China," *Nature* 484 (2012): 92–95, doi: 10.1038/nature10906.

[8] Lawrence L. Witmer, "Dinosaurs: Fuzzy Origins for Feathers," *Nature* 458 (2009): 293–295.

[9] Oliver W. M. Rauhut et al., "Exceptionally Preserved Juvenile Megalosauroid Theropod Dinosaur with Filamentous Integument from the Late Jurassic of Germany," *PNAS* 109, no. 29 (2012): 11746–11751, doi: 10.1073/pnas.1203238109.

[10]C. R. Darwin, *Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, vol. 1 (London: John Murray, 1871), 3.

[11] Ryan M. Carney et al., "New Evidence on the Colour and Nature of the Isolated *Archaeopteryx* Feather," *Nature Communications* 3, article no. 637 (2012), doi: 10.1038/ncomms1642.

[12] Jakob Vinther et al., "The Colour of Fossil Feathers," *Biology Letters* 4, no. 5 (2008): 522–525, doi: 10.1098/rsbl.2008.0302.

[13] J. Vinther et al., "Structural Coloration in a Fossil Feather," *Biology Letters* 6, no. 1 (2009): 128–131, doi: 10.1098/rsbl.2009.0524.

[14] Fucheng Zhang et al., "Fossilized Melanosomes and the Colour of Cretaceous Dinosaurs and Birds," *Nature* 463 (2010): 1075–1078.

[15] Quanguo Li et al., "Plumage Color Patterns of an Extinct Dinosaur," *Science* 327, no. 5971 (2010): 1369–1372, doi: 10.1126/science.1186290.

[16] Quanguo Li et al., "Reconstruction of *Microraptor* and the Evolution of Iridescent Plumage," *Science* 335, no. 6073 (2012): 1215–1219, doi: 10.1126/science.1213780.

第八章

# 鸭嘴龙的声音和暴龙的口味

要是不能咆哮，恐龙会成什么样子？从博物馆巡回展览中那摇头晃脑的笨拙机器人，到好莱坞的顶级特效，恐龙们都依靠震耳欲聋的咆哮让自己栩栩如生。1948年的大片《未知地带》里第一次展现了狂暴的彩色恐龙，但要是没了角鼻龙混乱刺耳的嚎叫，那它简直就变成了另一部电影。缺了暴龙怒吼的《侏罗纪公园》似乎也没有以前那么危险。不仅肉食性恐龙如此，三角龙、腕龙和甲龙等引人注目的植食性恐龙也要通过嘶鸣、打鼻响和呼噜来变得更为鲜活。就连发现频道也在最近的纪录片《恐龙革命》里塑造了一群时刻都在用低吼和咆哮表达主龙类之心的恐龙。要是电影和有线台纪录片说的都是真话，那恐龙就是有史以来最聒噪的生物之一。

正如屏幕上很多恐龙生活的复杂细节一样，恐龙独特的声音也只是推测的结果。流行文化里的恐龙的嘶吼通常是各种动物声音交织在一起的结晶。《侏罗纪公园》里震撼人心的暴龙怒吼实际上混合了大象、短吻鳄、老虎和狗的声音。我早就在小学美术课上学到了混在一起的颜色足够多就能调出棕色，看来我们只要有足够的动物喧嚣就能混合出恐龙的咆哮。

花在闪烁屏幕前的大把时间教会了我一件事：恐龙必须有配得上

它们惊人体型的声音。但我一直对它们真正的声音非常好奇。费耶特维尔州立大学的古生物学家菲尔·森特在《昔日之声：古生代和中生代动物声音的综述》一文中考虑了同样的问题。[1]我希望森特能带着高保真记录仪与史前恐龙交流。可惜这只是个幻想，他写道："化石记录里可没有音频。"可恶啊。

既然不能直接获得恐龙的声音，森特便通过逐一检验现生动物来研究史前生物可能的叫声。这意味着有关恐龙的线索来自鳄类和鸟类恐龙。可问题是，这两种主龙类动物的发声方式并不相同。鳄类通过咽喉发声，而鸟类通过鸣管嘤嘤呖呖。鸣管由位于上呼吸道深处的一连串软骨环构成。这两个结构截然不同，因此森特认为鳄鱼和鸟类的发声能力是通过相互独立的过程演化而来的，所以恐龙可能不会尖叫、鸣唱或咆哮。作为安慰，他也提出恐龙可能会用其他方式发声：嘶嘶作响、上下颌相互敲击、摩擦鳞片和扑通水花，迷惑龙和同等体型的蜥脚类恐龙还能让鞭子一样的尾巴甩得噼啪作响。但对于成长过程中伴随着喧闹的暴龙及三角龙的人而言，这种解释实在不能让人满意。

我还没全面考虑过恐龙可能拥有的各种发声方法。相互竞争的棘龙在古代泛滥平原上狭路相逢时，它们会不会像鳄鱼一样依靠敲击上下颌来恐吓对方呢？窃蛋龙母亲会不会对太过靠近龙巢的入侵者发出嘶嘶声？这些情景显然都有可能，但我还是相信恐龙也会发出声音。毕竟，尽管现生恐龙（鸟类）和与恐龙亲缘关系最近的表亲（鳄类）的发声方式不同，但它们的共同祖先不一定是默默无言的。鸟类也具有喉部，尽管它们不通过此发声，而通过同样的结构，鳄类则足以发出声响。因此，或许在演化出鸟类的发声器官之前，大部分非鸟恐龙是通过更类似鳄鱼的方式来表达自我的。在犹他州立大学的屋顶温室里参观短吻鳄宝宝时，我几乎听到了嘶嘶声——这些尖牙宝宝并不是很欢迎我。但上 Youtube 看看，你就会发现鳄类也会发出其他几种声

音。看一下圣奥古斯丁短吻鳄农场动物园的雄性美洲短吻鳄的短片吧。短吻鳄低沉的声音介于突然疏通的堵塞下水道和发动失败的剪草机之间。在另一个拍摄于大沼泽国家公园的短片中，一对雄性鳄鱼抬起脑袋、尾巴高高举出水面，都在为宣示领地而发出相似的声音。水花随着它们的嘶吼，跃动于覆盖铠甲的背部之上。

恐龙可能听闻过短吻鳄和鳄鱼的史前亲戚在史前沼泽中如此这般地发出声响（想像一下，一只 12 米长的短吻鳄样的恐鳄会发出怎样的叫声！），但它们是否也会发出类似的声音则纯属推测。尽管听上去诱人，我们终究不能以少量鸟类和鳄类为例，基于它们的声音就来外推大量各式恐龙的声音。短吻鳄类和鳄类能够发声是恐龙可能会相互呼唤的一条线索，但我们只能依靠手头有限的证据去试图复原恐龙的声音。

很明显，我们需要更加了解恐龙的软组织才能复原它们的声音，特别是喉部解剖结构。幸运的是，存在一些精细的骨骼线索可以帮助我们确定恐龙的发声方式。并且在至少一类恐龙的头部结构中，我们发现了表明其具有发声能力的线索。副栉龙就是这样一位中生代音乐家。从脖子到尾巴，这种恐龙与其近亲长得没什么太大区别，只是鸭嘴龙科典型的短前臂、长后肢和长尾巴。但顿时让它们与众不同的是其令人惊叹的头骨。副栉龙的后脑勺上伸出了一个略弯的管状头饰。每个种类的头饰各不相同。比如生活于晚白垩世的新墨西哥州和犹他州的短冠副栉龙，就比自己稍晚的亲戚——新墨西哥州的小号手副栉龙以及加拿大艾伯塔省的沃克氏副栉龙——头饰要短。不过这三种恐龙都具有易于辨认的相似头饰。副栉龙头饰的美丽之处不仅在于为外表增彩。头颅上伸出一个巨大的管子确实引人注目，但头饰的内部结构之中还埋藏着关于交流的真正秘密。



部分鸭嘴龙（比如副栉龙）的中空头饰让它们可以发出传播甚远的各种低音。（由作者拍摄于犹他州自然史博物馆）

在 2010 年五月一个阳光明媚的清晨，在犹他州南部广阔的恶地之一，我有幸亲眼见到了这种头饰。大升梯–埃斯卡兰特国家纪念地（Grand Staircase-Escalante National Monument）是犹他州南部沙漠中一片绚烂的孤立地带。在前往纪念地的白垩系暴露岩层的旅途中，沥青马路很快变成了被精心打理的煤渣道，两边是布满鼠尾草的岩石地貌。一条岔道则通往被称为格罗夫纳拱门的粉黄色双石拱。真希望当时自己有机会去领略公园其他地方的美景。平坦的小径很快就变成了长长的单车道河渠，里面散布着岩石和凹坑，说它是公路简直徒有虚名。这条小路让我在前往凯佩罗维兹高原的路上受了好一番颠簸。

我胆战心惊地随着汽车东摇西晃地穿过“鸡冠谷”、翻过“胆气”山口。我这辈子都住在路况良好的东部诸州，最难对付的道路不过是碎石停车场。我死死抓住方向盘，双目直视前方，努力不去想象到时该怎么向自己的保险代理人解释这辆租来的车到底遭遇了什么。(“那么当时你在干什么？”)到达犹他州立大学马山营地之前的最后一段旅程最难忍受，土路上最后的颠簸让人仿佛置身于印第安纳・琼斯系列电影。弯道上有几处地方出现了小块断落，大喇喇地提醒着行人看路要格外小心。达到营地之后的那个清晨，资深化石猎人斯科特・理查森（Scott Richardson）带我回头走了一遍这条路，好让我欣赏纪念地里一个非常特别的化石。你可以想象那时候我有多高兴。

在这片土地管理局管辖的公园里，暴露岩层与你期待的西部岩层不太一样。凯佩罗维兹组（Kaiparowits Formation）是一套约有 7500 万年历史的岩层，犹他州南部在它形成的年代里仍是滨海沼泽，而且离将北美一分为二的浅海不远。该组的部分地区覆盖着沉入沙土的灌木和矮树。这些灌木覆盖区里的恐龙似乎很乐意从泥土中现身，但不太愿意从裸露的岩石里冒头。我和斯科特停好了车，开始向副栉龙的所在地走去。他将一根泥土里的孤立恐龙趾骨指给我看。巧克力色的

骨头就这么从包裹它的沉积物里掉了出来，但斯科特不能碰它。土地管理局对这片地区的化石收集做出了严格的具体规定，想挖出一块骨骼碎片都要先获得恰当的许可。这块恐龙脚趾得等一等了。

当我们终于来到副栉龙的所在地时，我还没马上反应过来自己看到的是什么。呈现在我眼前的只是一块巨大灰色岩石上的奇怪黑色碎片。化石暴露出的部分有些像卡通版的染色体，我以前在一年级生物课上为特别简单的课堂演示做过这样的染色体。在棕褐色的骨头外壳里有两对椭圆形斑点，而且下面的斑点比上面的要长。突然之间，我意识到了自己曾见过这种形状的恐龙结构,斯科特也证实了我的猜测。我看到的是副栉龙头饰的横断面,上面有头部装饰结构中的空心管道。

我在查询这种鸭嘴龙的历史时发现，加拿大古生物学家威廉・帕克斯在 1922 年描述沃克氏副栉龙时也看到了差不多的结构。[2]虽然这种恐龙修长的头饰看似非常结实，但偶然的断裂让人发现它其实是个中空结构。里面的骨骼隔开了一对自鼻部开始并延伸至后脑和口腔的管道——这是前所未见的超长鼻腔。

为什么恐龙需要如此复杂的头部管道系统是个谜题。更让人困惑的是亲缘关系很近的鸭嘴龙类具有相似的身体结构，头饰形状却不一样。鸭嘴龙科里有三大分枝：鸭嘴龙类、栉龙类和赖氏龙类。鸭嘴龙类没有头饰，包括来自我老家新泽西州的鸭嘴龙。栉龙类，比如分布广泛的埃德蒙顿龙和“细心的妈妈”慈母龙，它们没有肉质头饰，或者头饰是相对简单的突起和头冠。赖氏龙类的头部结构更加张扬，不过身体与外貌不太出众的亲戚相似。这类恐龙一般具有各种形状的复杂头饰。除了有管状头饰的副栉龙，盔龙（具有圆顶状头饰）和赖氏龙（具有巨大的 L 型头饰）也是典型的赖氏龙类成员。在这些成员中，每个种属的鼻腔都和头饰相连，形成口鼻循环通道。

在我还是小孩的时候,学校图书馆里陈旧的书籍和爸妈在当地贺曼

商店给我买的一本便宜恐龙相册都对头饰的作用达成了共识。华丽的头饰显然是恐龙的水中呼吸装置，好让副栉龙和其他赖氏龙类的成员可以把大部分时间都花在水里。在自己的童书《恐龙和其他史前爬行动物》中，鲁道夫·察林格绘制了并肩畅游在白垩纪湖面的副栉龙和盔龙。而在意大利帕尼尼公司制作的贴纸书里，则有一大群副栉龙在水下吃草。当以鸭嘴龙类是两栖植食性恐龙这个完全错误的假设为前提时，头饰的水中用途倒是很有道理的。毕竟它们叫作“鸭嘴”龙啊，一个不准确却深入人心的名字。保存良好的鸭嘴龙标本表明此类恐龙具有宽大的喙部，看起来像一对焊在一起的垂直铁铲。而某些具有完整皮肤印痕的鸭嘴龙标本则让人们误以为它们只居住在沼泽中。1912年，古生物学家亨利·费尔菲尔德·奥斯本描述了一个特别的埃德蒙顿龙标本。[3]化石由查尔斯·H. 斯滕伯格（Charles H. Sternberg）发现，上面保存了恐龙身体上大部分的皮肤印痕。从印痕来看，这头恐龙的手部似乎包裹着肉质外套。奥斯本认为这是帮助鸭嘴龙在白垩纪大江大河中划水的蹼。实际上，这种结构是用于将鸭嘴龙的手指连在一起，以便在四足行走时支撑体重。

在我们认识到鸭嘴龙的本质之前，水生生活似乎是部分种类具有奇特头冠的最佳解释。尽管帕克斯对副栉龙头饰的作用还不太确定（可能是某种视觉信号？），但艾尔弗雷德·舍伍德·罗默（Alfred Sherwood Romer）在1933年提出了两个可能的假设：头饰具有储存空气的功能，或者可以帮助鸭嘴龙在潜水时通气。虽然头饰上没有供恐龙从水下呼吸的开孔，但就我在多年之后学到的来看，空气储存说很符合大众口味。

并非所有古生物学家都认同罗默的观点，但仍有一些专家认为头饰和水中活动相关。著名化石收藏家查尔斯·H. 斯滕伯格的一个儿子查尔斯·莫特拉姆·斯滕伯格便猜测，在被他称为“头巾鸭嘴龙”中

的U型弯曲是为了在赖氏龙等恐龙把头伸进水里觅食时防止水进入呼吸系统。德国古生物学家马丁·维尔法特（Martin Wilfarth）还有更离奇的想法：该构造较宽的地方本长有长鼻，让盔龙及其亲属可以在需要的时候伸出水面呼吸。

就连批评和唾弃这种种看法的约翰·奥斯特罗姆都认为，增宽的鼻腔是在水中发挥着作用。[4] “鸭嘴龙很有可能过着非常消极的生活，甚至是群隐士。”他写道，“它们没有角，没有爪子，没有锋利的牙齿，没有尾锤和尖刺尾巴，也没有骨质铠甲……它们明显不能快速逃跑，而且在当时也算不上大型恐龙。”毫无战斗力的鸭嘴龙该怎么办呢？

奥斯特罗姆认为它们的鼻腔可能就是解决之道。鼻腔可以提高它们嗅探远处掠食者的能力，必要时还有助于泅水逃跑。这个观点也未能被大家接受。没有证据表明鸭嘴龙鼻腔里探测气味的部分要比通常的大，而且从远处嗅到掠食者的能力要求它们的头饰具有相同的外形，以便让嗅探性能最优化。但鸭嘴龙多种多样的头饰表明它们另有用途。

结果还是帕克斯摸对了方向。詹姆斯·霍普森在1975年回顾了各种有关鸭嘴龙的观点，并得出了头饰是视觉信号的结论。[5]这种结构的主要作用只是展示。但霍普森也谨慎地提出这种解释并不能排除其他可能。长而迂回的鼻腔可能起着共振腔的作用，因此副栉龙之类的恐龙可以向远处的同伴发出鸣叫。很多年前，在描述小号手副栉龙时，瑞典古生物学家卡尔·威曼（Carl Wiman）评论道，这种恐龙的头饰很像克鲁姆双簧管（crumhorn）。我真心希望副栉龙的叫声比木管乐器更惊人。说到木管乐器，我就想到奇怪的卡祖笛。如果体长超过九米、体重近三吨的副栉龙发出如此无力的叫声，那它们肯定无意中成为了有史以来最滑稽的动物之一。

多亏了探究副栉龙发声能力的研究者，我们才能知道它们的叫声没有这么可笑。约翰·霍普金斯大学的古生物学家戴维·韦西佩尔采

用简易的副栉龙头饰模型研究了它们的作用。[6]我还记得小时候在好几部纪录片里看过韦西佩尔吹着恐龙角。他使用的装置是 PVC 管做的 U 型角，大概和副栉龙的头饰等长，上面还涂着绿色和橙色条纹。这东西的声音听起来颇似雾笛，是一种深沉的隆隆声，可以在副栉龙生活的白垩纪河口上传播很长一段距离。现在和这根管子的重逢让我想起了雷·布拉德伯里的短篇故事《雾笛》。他在故事里想象出了一只孤独的史前怪兽，因为误将雾笛的声音认成同类的叫声而游出海面。可惜韦西佩尔的鸭嘴龙大号一直没能召唤出潜伏的恐龙，让狂热的恐龙粉丝们感到有些失落。

当然，恐龙不是油漆和 PVC 的产物。鸭嘴龙的头饰是由软组织和骨骼组成的复杂结构，并随着恐龙的成长而发生变化。这个模型只能大致再现恐龙的发声方式。但也有细微的线索表明，鸭嘴龙可以发出这种声音，而且发声能力还会随发育的过程而变化——它们的耳朵就是证据。

自制设备让韦西佩尔得到了一些在纪录片里出境的机会，但他也写了一些有关鸭嘴龙头饰声学功能的论文。他认为从音调的角度来看，具有完备头饰的沃克氏副栉龙可以发出比中音 C 低两个八度的 G 音到中音 C 下的 B 音。而头饰圆钝的短冠副栉龙可以发出比中音 C 低一个八度的 D 音到比中音 C 高的 F#。正如他在 1981 年《古生物学》上发表的论文所述，盔龙等鸭嘴龙精细的耳部解剖结构可能支持一个观点，即此类恐龙对它们头饰发出的多种低频声音敏感。

但这只适用于成年恐龙。韦西佩尔推测幼年鸭嘴龙没有成年龙一样发育完好的头饰，因此可能会像幼年短吻鳄一样发出唧唧声。这样做有充分理由。幼年恐龙的叫声频率高，这样尖叫不会传播太远，以免引起掠食者不必要的注意。不过，和同类的交流在成长过程中变得尤为重要，特别是和潜在配偶的交流，而长距离交流的最佳方法是低频声。现生非洲象可以勉强作为参考，低沉的声音让这些巨大的哺乳

动物可以进行远距离交流。

韦西佩尔做出假设的依据是以往有关鸭嘴龙耳朵以及现生鸟类和鳄鱼解剖结构的研究。一般来说，古生物学家很难推进有关恐龙耳朵的研究。保存完好的鸭嘴龙头骨十分少见，价值高昂，决不能为了观察耳朵内部而破坏部分头骨。虽然研究者已经开始采用 CT 扫描来观察恐龙头骨的内部结构，但这项技术也不便宜。我们直到最近才开发出了更好接受且分辨率更高的扫描方法，因此发现了鸭嘴龙真正的听力。

戴维・埃文斯是接手韦西佩尔鸭嘴龙声音研究的古生物学家之一。[7]在发表于 2006 年《古生物学》的一项研究中，他认为造就不同鸭嘴龙头饰的因素是炫耀和声音需求，可能还有生理效益。在 2009 年，他和同事瑞安・里奇利以及劳伦斯・威特默一道研究了鸭嘴龙头饰、鼻腔和脑部的发育如何关联到了一起。通过为不同年龄阶段的赖氏龙、盔龙和另一种圆头饰的恐龙——亚冠龙进行三维头骨扫描之后，他们查看了鼻腔轨迹并研究了脑部和内耳的解剖结构。

这些恐龙的头骨里藏着惊喜。研究者在高棘亚冠龙的标本中发现鼻腔迂回循环了很长一段距离。空气在进入它的鼻腔之后流向眼睛的水平面，此后又下降、扭转、再次上升，达到头冠最高点，最后旋转下行进入喉部。而一只幼年赖氏龙的鼻腔结构比较简单，其在被称为 S 弯曲的部位短暂弯曲，此后上升进入幼龙未发育完全的头饰，后再降入喉部。亚冠龙的鼻腔比外观平凡的头饰曲折得多。单从头骨外部看，你根本不会猜想它具有如此复杂的鼻腔系统。不管鼻腔有什么用处，其演化的理由必然与头饰的有所不同。头饰的外表很可能是作为视觉信号而进行演化的，而内部的鼻腔则是出于不同的演化压力，可能与声音和生理学有关。

我们可以通过检视头颅的内部来推测为什么某种恐龙会具有这样复杂的鼻腔管道系统。古生物学家可以通过扫描头骨化石的空颅腔来

建立精细的虚拟模型。各种骨突和隆起表明了各种知觉对恐龙来说发挥着多大作用。同样，对内耳进行高分辨率扫描能帮助我们理解恐龙到底能听到什么。

埃文斯、里奇利和威特默在研究鸭嘴龙内耳的时候发现，小恐龙更容易听到较大频率范围内的声音，而成年恐龙只能听见它们头饰发出的较低频声音。不仅如此，这些恐龙的脑部还具有巨大的脑半球，而脑的这部位与复杂行为相关。尽管没有确凿无疑的证据表明制造和聆听声音是推动鸭嘴龙头饰演化的动力，但这个结论是以下观点的应有之意：副栉龙等恐龙是可以发声的社会性动物，究其一生都在相互交流。

我们可以运用同样的原理来研究其他恐龙可能发出的叫声。大部分其他恐龙都没有发声用的头饰，但我们可以通过估计某种恐龙能够听到什么来推测它们的发声范围。

2005 年，基于鸟类和鳄类内耳解剖结构和声音探测能力之间的关系，奥托·格莱希及其同事推测了大型恐龙异特龙和长颈巨龙能够听到的声音。[8]他们认为这两种恐龙只能听到低于 3000 赫兹的极低频声音。在格莱希的研究发布之后，记者们很快指出，3000 赫兹大约是人类尖叫的音高。所以穿越到侏罗纪之后人们可以尽情尖叫，而不用担心最巨大的恐龙们会循声而来。除了对时空穿越者有所帮助，这个研究的重要价值在于表明了恐龙耳朵可能是恐龙发声研究中的最佳证据。

如果你发现自己面对着大型掠食性恐龙，记住这一点：它们可能听不见你的声音。（麦克·基西绘）

脑部扫描不只能让我们粗略估计恐龙能听到什么。恐龙脑部的复原结果和铸模也透露了它们的其他感觉信息，比如视觉和嗅觉。劳伦斯·威特默长久以来是此类研究的领军人物。他通过融合老派比较解剖学和高科技创新的方法来研究史前动物的感官。根据某种结构在现生动物里的作用，威特默的实验室开始复原人们原先以为科学探索无法涉足的恐龙特征。

2011 年年底，威特默、达拉·泽伦尼茨基（Darla Zelenitsky）和其他研究者采用复原的脑部图像探究了恐龙嗅觉随时间发生的改变。研究的关键在于嗅叶，这是脑部处理气味输入信息的部分。一般来说，嗅叶越大，嗅觉越棒。这个观点和适当质量原则有关——脑部某个部分相对其他部分来说越大，那它负责的功能对主人来说就越重要。在主要依靠视觉生存的动物中，可以预见处理视觉信息的脑部结构比较发达。嗅觉亦是同样道理。

部分恐龙具有敏锐的嗅觉。斑比盗龙是一种拥有折刀式利爪的掠食者，并不像名字听起来那么可爱。它脑部的嗅觉部分几乎与土耳其秃鹰或黑脚信天翁一样发达。这两种鸟类都是依靠嗅觉寻找食物的肉食性动物，因此认为小小的有羽斑比盗龙过着同样的生活也并不为过。纵观鸟类的演化过程，恐爪龙类的鸟类后代——斑比盗龙的亲属们——在演化早期还保留着它们卓越的嗅觉。更依赖视觉的种群诞生于鸟类家族不断扩大的较晚时期，而其他成员依然保留着（或再次演化出）敏锐的嗅觉。

盗龙不是唯一长于嗅探的恐龙。君王暴龙的巨大嗅球也名声在外。这个特性和暴龙的其他独特之处让它们成了一场奇怪辩论的焦点，虽然这场辩论更算是一场白垩纪公关，而非一场科学讨论。

在我的记忆里，暴龙的掠食能力显而易见。“暴龙吃什么？”这个问题的答案本来是“想吃什么就吃什么”。但一些早期的古生物学家认

为暴龙是巨大而笨拙的腐食性动物。1917 年（暴龙获得命名之后的第九年），加拿大古生物学家劳伦斯 · 拉姆（Lawrence Lambe）提出，巨大且修长的暴龙类蛇发女怪龙是“被动的”肉食性恐龙，它们可以清理掉白垩纪大地上的角龙类和鸭嘴龙类尸体，因此是“对大自然起着有益作用”的清道夫。

几十年后，杰克 · 霍纳提出君王暴龙也是腐食性动物。霍纳在 1994 年的恐龙市集（Dino Fest）大会上指出，君王暴龙具有“警惕的双眼”、小前臂和高耸的头骨，这些都更加适合压碎而非切割。[9]比起掠食者，这位暴君似乎更像是腐食者。这个颇具争议的解释立刻成了新闻热点。几乎每一个有关暴龙的发现（比如它们的奔跑速度、咬合力量、其他恐龙被暴龙吞噬后带有牙印的残骸）都与它们是完美的掠食者还是肮脏的清道夫之争扯上了关系。

大部分古生物学家都觉得这番论战没有意义。暴龙显然既能捕猎，也会享用现成的尸体。[10]它们的嗅觉十分发达，但也拥有前向视力。君王暴龙可能是少数可以用双眼视觉瞄准猎物的恐龙之一。虽然它们的前臂广遭嘲笑，但牺牲抓握手臂换来的是能够给猎物致命啃咬的沉重头骨。它们的身体在捕猎埃德蒙顿龙和三角龙时并无不利之处，也适合在机会来临时狼吞虎咽臭肉腐尸。君王暴龙是全能的肉食性恐龙，既能解决腐烂的尸体，也能屠宰猎物。

暴龙头骨的微妙细节能让我们在一定程度上了解暴龙的感官。多亏了新技术的出现和人们对作为动物的恐龙重新燃起的兴趣，古生物学家逐渐为恐龙与世界互动的方法拼凑出了更全面的信息。奇怪的是，恐龙生物学里一些最详尽的信息不是来自想象恐龙如何行走、撕咬和战斗，而是来自骨骼展现出的疾病和损伤征象。蚕食着恐龙健康的疾病会告诉我们这些动物的真实生活。

# 注释

[1] Phil Senter, "Voices of the Past: A Review of Paleozoic and Mesozoic Animal Sounds," *Historical Biology* 20, no. 4 (2008): 255–287, doi: 10.1080/08912960903033327.

[2] W. A. Parks, "*Parasaurolophus walkeri*, a New Genus and Species of Crested Trachodont Dinosaur," *University of Toronto Studies, Geology Series* 13 (1922): 1–32.

[3] H. F. Osborn, "Integument of the Iguanodont Dinosaur *Trachodon*," *Memoirs of the AMNH* (new series) 1, no. 2 (1912): 33–54.

[4] J. H. Ostrom, "The Cranial Crests of Hadrosaurian Dinosaurs," *Yale Peabody Museum of Natural History Postilla* 62 (1962): 1–29.

[5] J. A. Hopson, "The Evolution of Cranial Display Structures in Hadrosaurian Dinosaurs," *Paleobiology* 1, no. 1 (1975): 21–43, www.jstor.org/stable/ 2400327.

[6] D. B. Weishampel, "Acoustic Analyses of Potential Vocalization in Lambeosaurine Dinosaurs (Reptilia: Ornithischia)," *Paleobiology* 7, no. 2 (1981): 252–261; D. B. Weishampel, "Dinosaurian Cacophony: Inferring Function in Extinct Animals," *BioScience* 47, no. 3 (1997): 150–159, www.jstor.org/stable/1313034.

[7] D. C. Evans, "Nasal Cavity Homologies and Cranial Crest Function in Lambeosaurine Dinosaurs," *Paleobiology* 32, no. 1 (2006): 109–125, dx.doi.org/10.1666/04027.1; D. C. Evans, Ryan Ridgely, and L. M. Witmer, "Endocranial Anatomy of Lambeosaurine Hadrosaurids (Dinosauria: Ornithischia): A Sensorineural Perspective on Cranial Crest Function," *The Anatomical Record* 292 (2009): 1315–1337.

[8] O. Gleich, Robert J. Dooling, and Geoffrey A. Manley, "Audiogram, Body Mass, and Basilar Papilla Length: Correlations in Birds and Predications for Extinct Archosaurs," *Naturwissenschaften* 92, no. 12 (2005): 595–598, doi: 10.1007/s00114-005-0050-5.

[9] J. R. Horner, "Steak Knives, Beady Eyes, and Tiny Little Arms (A Portrait of *T. rex* as a Scavenger)," in *Dino Fest: Proceedings of a Conference for the General

*Public*, eds., Gary D. Rosenberg and D. L. Wolberg, *Paleontological Society Special Publications* 7 (Knoxville: The Paleontological Society, 1994), 157.

[10] Thomas R. Holtz Jr., “A Critical Re-Appraisal of the Obligate Scavenging Hypothesis for *Tyrannosaurus rex* and Other Tyrant Dinosaurs,” in Tyrannosaurus rex: *The Tyrant King*, eds., Peter L. Larson and Kenneth Carpenter (Bloomington: Indiana University Press, 2008), 371.

第九章

# 骨中秘密

君王暴龙永垂不朽。不论是在虚构小说中，还是在科学复原中，没有什么造物比它们更凶残恐怖。“君王”一词绝非浪得虚名，这些家伙碎骨裂肉的力量在暴龙类中也属登峰造极。尤其在小说中，暴龙已不再是单纯的动物，而是自然力量的化身。它们的脚步震撼大地，地狱般的嚎叫里蕴藏着飓风之力。数千万年的演化让它们能轻车熟路地分离骨肉。暴龙集真正的野性于一身，可能这就是我们拒绝相信此般神龙居然也会有几个弱点的原因。其实我在开始浏览病理学文献之前也不知道恐龙经常遭受骨折的折磨，会为寄生虫挠心挠肺，得和感染战斗，还要面对生活中的其他种种磨难。

一只被称为“苏”的暴龙经历了坎坷的一生。苏是迄今为止最完整最巨大的暴龙标本，也是白垩纪艰辛生活的化石缩影。芝加哥菲尔德博物馆里展示着它那破损的骨架。我最后一次经过那个地方的时候正为搬往犹他州的新家而穿越全国，当时还有三只气坏了的猫咪坐在我小小座驾的后座上。虽然没法在菲尔德博物馆稍作停留，但我还是运气不错，听说我家附近很快就会架起一个苏的复制品。至少我还能看看克隆苏。爱达荷福尔斯城郊开发区有一座爱达荷州博物馆，从盐湖城向北驱车几个小时就能达到，而那里要为世界上最著名的君王暴

龙举办一场巡回展览。

在前往爱达荷州之前我还做了一点家庭作业。苏身上有好几个部位都需要仔细观察。我听说它有多处骨折，还有一个原因不明的创伤毁掉了它的颌部。这些受伤的骨头让我想好好钻研一番。大家观看恐龙骨架的时候经常不求甚解，就与我们一边看着房子、办公室和教堂，又一边忽略着微小的细节一样。令人惊叹的恐龙骨架结构中暗藏着微妙的线索：隆起、圆形突起、肌肉痕迹和凸缘都在向我们诉说着它们的本质和生命。这些特征提醒着我们：化石不仅仅是静止的岩块，更是曾经鲜活的生命，它们属于人类想象力无法企及的奇妙动物。

我研读了艾奥瓦州大学古生物学家克里斯·布罗许针对苏的骨架撰写的透彻专著。[1]布罗许发现有多个征象表明苏在生前有过数场战斗。它断了好几根肋骨，肱骨和肩膀也未能幸免。他推断身体右侧的毁损可能是单次受创的结果，左侧也有肋骨断裂意味着骨折对一只成功的暴龙来说是家常便饭。内部感染改变了其他部位的骨骼，比如左腓骨和两块椎骨。但苏挺了过来，它的骨骼上有愈合的痕迹，骨折的感染没能让它最终崩溃。但布罗许在研究苏的颌部结构时发现了关键问题。颌部具有大面积损伤的征象，这可能让苏在生命最后的日子里没法进食。这个谜题让我特别着迷：让庞大暴君衰弱的东西会是什么呢?

在到达爱达荷州博物馆之后，我径直越过了摆放着可触摸展品的小展厅，直奔苏的标本。巡回展览的标牌上没有我想知道的东西，秘密都藏在苏的骨骼里。算我走运，标本很大——虽然它被挡在围栏后面，但创伤还是能看得一清二楚。骨骼上凹凸不平的隆起是骨折愈合的地方，也是它和感染斗争的战场。但最让人挪不开眼睛的是颌部的伤口。苏的下颌看起来像是中过一记大口径散弹枪的攻击。它的颌部两侧都有巨大、光滑的穿孔。

苏被发现后不久，发掘团队中的彼得·拉森就声称这些孔洞是啃咬留下的伤口。[2]这个假设符合其他古生物学家在别的暴龙身上发现的损伤特征。在研究兽脚类恐龙头部损伤的时候，达伦·塔克和菲利普·柯里发现大型掠食性恐龙经常以互相咬脸的方式打斗。[3]暴龙类的某些成员，如艾伯塔龙、蛇发女怪龙和惧龙标本的头骨都存在只有同类才能造成的咬伤。暴龙也会这么做是个合理的推测。苏下颌的孔洞没有愈合迹象，说明这头强大的恐龙遭到了同类对手的击杀。

但这种假设存在问题。布罗许和其他古生物家在查看颌部损伤时发现孔洞的分布和形状都不符合暴龙咬痕。骨骼受损的原因并非科学家推测的另一只大型暴龙穿透骨骼的啃咬。到底是谁杀死了苏这个问题再次被摆上桌面,古生物学家现在怀疑凶手是远远小于恐龙的生物。

最终，兽医尤安·沃尔夫、古生物学家史蒂文·索尔兹伯里和他们的团队在 2009 年里解开了苏的死亡之谜。[4]



在生命最后的日子里，暴龙苏饱受口腔寄生虫侵扰的折磨。它们可能将它的颌骨啃食到了让它没法进食的地步。（由昆士兰大学克里斯·格伦绘，摘自 doi:10.1371/journal.pone.0007288.g004）

研究团队宣称，苏和它的同类都为一种微生物所苦，罪魁祸首是现在通常寄生于老鹰的嘴部和喉咙的动物。在现生鸟类中，这种微生物被称为禽毛滴虫。它们的传播模式非常简单：比如鸽子饮用受污染的水之后，禽毛滴虫便寄生在它们体内，而捕食鸽子的掠食者也会因此受到感染。这种微生物的种系众多，其中部分不会引起症状，而其他成员会侵蚀鸟类的下颌，造成骨损伤和软组织溃疡。病情最严重的受害者没法再正常饮食。

虽然在暴龙的年代还没有禽毛滴虫这种寄生虫，但苏和其他暴龙无疑备受类似搭便车者的侵扰。（其实只要仔细观察全球各个博物馆里展览的暴龙骨架就不难发现，很多标本的骨骼上都存边缘光滑的大洞。）苏肯定受了不少罪。骨骼损伤、坏死的组织和溃疡让本来愉悦的进食（至少我想象如此）变得痛苦又艰难，苏就这样活活被饿死。有史以来最可怕的肉食动物颓倒在更狠毒的掠食者面前，而凶手是一群甚至没法用肉眼看到的小东西。

没人知道苏是怎么染上了满口微生物。可能的解释不少。柯里和塔克描述的标本以及一只吻部有穿孔的年轻君王暴龙“简”告诉我们，暴龙会在打斗中互相啃咬面部。[5]要是进攻一方的嘴里已经住满了寄生虫，那这也不失为一个绝妙的传播途径。带有粗糙锯齿的牙齿是细菌和原生动物的安乐窝（它们在享用恐龙晚餐的残羹碎肉），而这样肮脏的牙齿会让致命的微生物深入其他暴龙的头部。[6]然而，苏的身上没有一处咬痕。如果没被受感染的暴龙攻击，那寄生虫肯定是通过其他途径侵入了它的身体。

另一个可能的原因是同类相食。[7]在目前发现的众多君王暴龙标本中，至少有四具存在由另一只大型肉食性恐龙留下的咬痕。这些化石的细节表明咬痕是于死后形成的，因此反映出的是进食行为而非打斗。在保存着暴龙遗骸的蒙大拿州地狱溪组地区，只有一种掠食者拥

有能造成这种损伤的体型和力量——君王暴龙自己。暴龙有机会的时候也以同类为食。如果它们不巧吃掉了刚死去不久且感染了寄生虫的同类，那小虫子们可能也会顺势另择新枝。同类相食可以说是极佳的疾病传播渠道。

不论如何，苏穿孔的颌部表明，就连最强大的恐龙都会被别的生物侵扰摧残。它们的伤痛不一定都可见于骨骼，苏受伤的颌部是个罕见的个案。大多数情况下，寄生虫都生活在恐龙的软组织表面和内部。当宿主的身体腐烂时，它们也随之消失。但有些不寻常的化石表明，恐龙身上存在一整套寄生虫生态系统。

骇人的史前寄生虫不禁让人想修改一下约翰·卡彭特的恐怖片《怪形》的广告语：对有些寄生虫来说，恐龙是最温暖的藏身之处。由于恐龙是如此惊人，我们可能预期它们的寄生虫会更加可怕。我们已经靠幻想恐龙的寄生虫得有多恐怖找了不少乐子。在为《金刚》重制版创造充满史前幸存者的苍郁丛林时，导演彼得·杰克逊想象出了生活在暴龙肠道里的食腐怪物“肉食蠕虫”。当死去宿主的内脏流到条件适宜的岩石水塘里时，它们也成为了不再依赖宿主的阴森怪兽。远在这部影片上映之前，科幻作家布赖恩·奥尔迪斯就在短篇故事《可怜的小武士！》里虚构了一种让人毛骨悚然的小节肢动物，它们在最巨大的恐龙体内漫游。[8]文中穿越时空的猎人克劳德·福特决心要用巨兽战利品来证明自己的男子气概。翻滚的蜥脚类恐龙一倒下，它体内的寄生虫大军就开始寻找离自己最近的温暖身体——也就是克劳德。“你在螯爪撕裂颈脖的时候挣扎嚎叫。你想拿起自己的来复枪但力不从心，只能在痛苦中满地打滚。而那些螃蟹一样的东西立刻就在你胸口上贪婪地大吃起来。”奥尔迪斯这么想象着。克劳德从没想到“小虾”一样的恐龙寄生虫“会比宿主危险得多”。[ 而在现实中，科普作家卡尔·齐默（Carl Zimmer）在《君王寄生虫》一书中也考虑过恐龙是否会感染

绦虫，以及这种寄生虫该有多可怕。大型恐龙体内可能长有庞大的寄生虫。虽然到目前为止还没有直接证据表明暴龙会感染绦虫，但这也不是全无可能。]

大多数恐龙寄生虫都没有我们想象的那么巨大和恐怖，这对B级片的粉丝来说是个令人伤感的消息。它们其实和现代寄生虫没有太大区别。这个发现至少要部分归功于恐龙的粪便。和足迹化石一样，恐龙的粪化石没有得到应有的关注。绝不会有博物馆为拉在中生代土壤里的大坨龙粪大办展览。但保存至今的恐龙排泄物包含着许多关于恐龙生物学的信息。暴龙的粪化石表明它们会吞吃大量骨肉，而且消化过程非常迅速，甚至来不及完全消化猎物的碎块。[9]而蜥脚类恐龙的粪便则能帮助古生物学家对史前生态系统的组成以及禾本科植物和其他植物的演化过程展开探索。另外，一些微生物会以恐龙的粪便为食物和居所，部分保存完好的恐龙粪便含有在排泄物里连吃带住的腹足类动物。如果目标明确，那你也能在其中找到小小的寄生虫。

事实上,这样的寄生生物已经在肉食性恐龙的粪便化石里找到了。2006年，古生物学家乔治·波因纳尔和阿瑟·布科打碎了一块来自化石丰富的比利时贝尔尼萨尔的粪化石。[10]他们把样本洗净，磨碎，用盐酸溶液制成悬浮液，放在离心机里旋转，置入含水氢氟酸，然后再次离心，如此往复，直到获得可以用显微镜观察的浓缩恐龙粪便残骸。

残骸放大之后，波因纳尔和布科发现了寄生虫。小包囊表明存在内阿米巴属生物。这是一种分布广泛的微生物，既可能无害也可能致病，这取决于具体的种类。粪便里还有吸虫和线虫的卵。史前寄生虫虽然与现生物种不同，但两者之间的相似性足以让我们将它们辨别出来。这些搭便车的小家伙在1.25亿年的时间里并没发生太大变化。它们让古生物学家认识到，恐龙体内寄居着很多常见微生物。

虫子也会从外部攻击恐龙。史前虱子比较少见，不过根据现有化

石和遗传数据估计，主要的现生虱子种群从大约 1 亿年前开始增长。当时披羽恐龙已经出现了至少 6000 万年，毛茸茸的哺乳动物更不必说。虱子在羽毛里的繁荣昌盛表明这种没有翅膀的昆虫找到了不少安身之所。和今天的鸟类羽毛一样，恐龙羽毛非常适合寄生虫居住。中国的火山灰岩层里保存着完美的披羽恐龙化石，幸运的话，目光犀利的古生物学家总有一天能从它们的化石羽毛里捉到一只虱子。

蜱虫、蚊子以及其他会叮咬和掘穴的昆虫也和恐龙身上的虱子生活在同一个时代。我们不知道有多少恼人的无脊椎动物靠恐龙过活（不是人人都有把叮人虫抓个现行的运气）。但在候选寄生虫不断增长的名单中，有一种成员的吸血工具对恐龙之外的生物来说都太过强大。2012 年初，中国科学院的古生物学家黄迪颖和他的团队宣布发现了 1.65 亿年前的巨型跳蚤。[11]话虽如此，这种跳蚤其实只是相对较大，最大的一种也只是将近 2.5 厘米，但这种体型对可能的受害者来说已然非常巨大。与其现代亲戚不同，这些跳蚤不会跳跃。它们的口器非常沉重，嵌满了锯子一样的凸起。研究者认为这种坚实结构的目标正是恐龙。他们提出，这种跳蚤也许是惹人烦扰的伏击型掠食者。可怕的跳蚤们等待着恐龙，一有机会就迅速抓紧宿主饱餐一顿，随后再次消失在绒毛之中。

不过，为恐龙寄生虫分类还是一个新的研究领域，古生物学家的研究重点仍是恐龙骨骼上一目了然的损伤。

有人根据各种恐龙病理编了整整一本书。我喜欢偶尔翻阅一下，好提醒自己恐龙过着多么危险的生活。古生物学家达伦·塔克和病理学家布鲁斯·罗思柴尔德为他们编的书起了一个很有吸引力的名字，《恐龙之痛：恐龙病理学和相关课题的文献注释（1838 ~ 2001）》。[12]从咬虫到骨骼损伤都在编目中占有一席之地。书中的精彩之处还包括 20 世纪早期的各种理论：比如恐龙如此巨大古怪的原因是腺体疾病，

很多骨骼特征都归因于恐龙粗暴的交配方式，以及恐龙接触了从砷和肉毒素到番木鳖碱的各种毒物。可能的疾病则包括脊柱裂、骨髓炎、坏疽和痛风。

恐龙甚至还是癌症的受害者。良性和恶性肿瘤都有发现。虽然还没有迹象表明它们在即将灭绝的时候承受着更高的癌症风险，但我们的确发现这种疾病在数亿年前就已经出现。塔克和罗思柴尔德在一具犹他州的侏罗纪恐龙化石中发现了良性肿瘤。1998 年，罗思柴尔德和其他科学家又在另一具来自科罗拉多州的侏罗纪恐龙化石中发现了转移性癌症。过去十年里又发现了多个案例，大部分都来自晚白垩世的鸭嘴龙。[13]

有关恐龙的诊断不一定都准确。即使在今天，准确诊断疾病也不是件易事，数千万年前的患者自然更不必说（总会有其他古生物学家提出不同意见）。关于恐龙疾病的部分早期报告还受到了当时科学界对恐龙看法的影响。对此我喜欢举的一个例子来自病理学家罗伊・L. 穆迪在 20 世纪初描述的案例。[14]虽然古生物学家在他之前就注意到了恐龙骨骼的毁损，但穆迪是第一批为化石生物中众多病理进行全面分类的研究者之一。他撰写了一本对这个领域影响深远的著作《古生物病理学》。在诸多化石中，穆迪特别关注两块尾椎，它们来自类似迷惑龙的蜥脚类恐龙。骨头的尺寸和形状都表明它们位于接近尾尖的部位，但相互之间没有正常连接。这两块末端尾骨之间有一团炎症组织。穆迪写道："肿块极像橡树上的肿瘤样团块。"他还发现其他恐龙尾部也有这种损伤。他对这种损伤的解释是巨大的蜥脚类恐龙行动迟缓：这只恐龙可能在尾巴尖"被肉食性恐龙咬住并用力咀嚼了一段时间之后才转过庞大的身体去反击进犯者"。据他推断，如果蜥脚类的尾巴没有显著缩短，那么在侏罗纪沼泽里兴旺繁衍的细菌很快就会通过伤口感染到骨骼。当时普遍认为巨大的蜥脚类恐龙都蠢蠢蠢蠢，而且必定生

活在腐臭的沼泽中，穆迪的理论也是以此为依据。这一点他搞错了，蜥脚类恐龙并没有迟钝愚蠢到会让角鼻龙类轻松咬住它们的尾巴饱餐一顿。但也有一点他说对了，这类恐龙的尾椎骨确实相对脆弱、容易受伤，并且庞大的体型也没法让它们躲过莎士比亚所谓的“千百种身体要担受的皮痛肉痛”。穆迪写道：“迄今为止有关化石动物损伤的研究并没有在病理过程的性质上提出任何新东西，而只是把我们对疾病的认识拓展到了以前未知的极古老年代。”尽管不是所有现代疾病都见于中生代，但恐龙和其他史前生物身上的创伤和病理迹象对我们来说并不陌生。恐龙曾经面对的苦难现在仍伴随我们左右。

穆迪、罗思柴尔德和其他古生物病理学家发现的损伤、骨折、咬痕、骨骼融合和其他疾病都表明恐龙不是战无不胜的超级野兽。它们也和其他大型脊椎动物一样容易受伤生病，这让它们显得更加真实。一具毫无伤病的全新恐龙骨架显得像赝品。而一只具有愈合的骨折或感染的骨骼的恐龙则更能凸显它们曾经踏足这个世界的事实。每一道伤痕的背后都有一场我们能够大致还原的史前遭遇。

一只被称为“大阿尔”的年轻异特龙特别让我感到痛心。[15]与苏和简一样，大阿尔也是当时的顶级掠食者，而且遍体鳞伤。它的化石发现于 1991 年，来自怀俄明州富含侏罗纪化石的豪伊采石场。大阿尔的完整程度令人震惊，但骨骼上的线索表明它遭受过巨大的苦难。古生物学家丽贝卡·汉娜在对伤痕进行分类之后发现，它承受过 19 种病痛——从肋骨和指骨的创伤及感染到原因不太明确的脊椎毁损，一应俱全。[16]在汉娜看来，它们都不是大阿尔的直接死因，不过很多损伤都妨碍了它的捕猎能力。右前爪的一处骨折和因此产生的感染可能会让第二指在弯曲时疼痛。左足上的损伤在它的主要承重趾上留下了开放性脓肿，让它疼痛不已，降低了它追捕猎物的能力。大阿尔忍受着

诸多痛苦的病损，但这也正好说明了它有多顽强。

在拱门国家公园门外的路边恐龙足迹点里，一只和大阿尔同病相怜的恐龙留下了自己的足迹。这里没有什么路标或其他线索表明附近存在恐龙的遗魂。驱车沿着 191 号国道前往 70 号州际公路方向，在犹他州莫阿布市外的红色岩崖附近大致 148.7 英里路标处，有一条土路通往化石点。第一次去那地方的时候，我心里直打鼓，担心自己的小红车应付不了崎岖的道路。但我根本没法拒绝恐龙足迹的诱惑。

我在到达矮丘后面的小停车场后又走了一小段路才来到化石点，但这里没有解说牌上提到的足迹。我来来回回地寻找，还回到解说牌前查看有没有线索。结果低头一看，原来它们就在脚下。一只中型蜥脚类留下的足迹最容易辨认。曲线柔和的足迹仿佛是一串井然有序的凹坑。虽然令人印象深刻，但它们不是我来这里的目的。我要寻找的目标延伸向对角的另一个方向，那是一串巨大的三趾足迹，造迹者很可能是异特龙。它们不同寻常的间隔让我有些惊讶。这只肉食性恐龙的步伐长短交替，可见它行走时一瘸一拐。足迹记录了一只异特龙跛行的时刻。就我所知，这只受伤的恐龙并不是特例：跛行恐龙的记录从新泽西到澳大利亚都有发现。[17]

从破碎的骨头到难以摆脱的寄生虫、损伤、刺激和疾病，所有这些都是恐龙生活的一部分。说来奇怪，一些古生物学家在这些线索里寻找起了非鸟恐龙在白垩纪末期消失的原因。罗伊・穆迪在将化石记录中的疾病与时代对应起来后发现，伤病曲线刚好在恐龙和其他中生代生命灭绝之前达到顶峰。他认为恐龙遇到的祸事越来越多，而且“诸多攻击恐龙的疾病很可能和它们的宿主一道灭绝”。其他古生物学家也曾试图为恐龙的最终灭绝找出具体原因，他们提出的理论包括白内障、椎间盘突出、传染性疫病，甚至腺体病。然而恐龙自诞生起就在和疾患斗争，而它们的族群从未放慢发展的脚步，也没有面临灭绝的危险。

所以必然是别的因素让它们永远离开了地球。非鸟恐龙的灭绝是有史以来最大的疑案之一。

## 注释

[1] Christopher A. Brochu, "Osteology of *Tyrannosaurus rex*: Insights from a Nearly Complete Skeleton and High-Resolution Computer Tomographic Analysis of the Skull," *Journal of Vertebrate Paleontology* 22: sup4 (2003), doi: 10.1080/02724634.2003.10010947.

[2] Peter Larson and Kristin Donnan, *Rex Appeal: The Amazing Story of Sue, the Dinosaur That Changed Science, the Law, and My Life* (Montpelier, VT: Invisible Cities Press, 2002), 1–2.

[3] Darren H. Tanke and Philip J. Currie, "Head-Biting Behavior in Theropod Dinosaurs: Paleopathological Evidence," *GAIA* 15 (1998): 167–184.

[4] E. D. S. Wolff et al., "Common Avian Infection Plagued the Tyrant Dinosaurs," *PLoS ONE* 4, no. 9 (2009): e7288, doi:10.1371/journal.pone. 0007288.

[5] Joseph E. Peterson et al., "Face Biting on a Juvenile Tyrannosaurid and Behavioral Implications," *PALAIOS* 24, no. 11 (2009): 780–784, doi: 10.2110/palo.2009.p09-056r.

[6] William L. Abler, "The Serrated Teeth of Tyrannosaurid Dinosaurs, and Biting Structures in Other Animals," *Paleobiology* 18, no. 2 (1992): 161–183, www.jstor.org/stable/2400997.

[7] Nicholas R. Longrich et al., "Cannibalism in *Tyrannosaurus rex*," *PLoS ONE* 5, no. 10 (2010): e13419, doi:10.1371/journal.pone.0013419.

[8] B. Aldiss, "Poor Little Warrior!" in *Behold the Mighty Dinosaur*, ed., David Jablonski (New York: Elsevier/Nelson Books, 1981), 180.

[9] Karen Chin et al., "A King-Sized Theropod Coprolite," *Nature* 393 (1998): 680–682; K. Chin et al., "Remarkable Preservation of Undigested Muscle Tissue Within a Late Cretaceous Tyrannosaurid Coprolite from Alberta, Canada," *PALAIOS* 18, no. 3 (2003): 286–294, www.jstor.org/stable/3515739.

[10] G. Poinar Jr. and A. J. Boucot, "Evidence of Intestinal Parasites of Dinosaurs," *Parasitology* 133, no. 02 (2006): 245–249, doi: 10.1017/S0031182006000138.

[11] Diying Huang et al., "Diverse Transitional Giant Fleas from the Mesozoic Era of China," *Nature* 483 (2012): 201–204, doi: 10.1038/nature10839.

[12] D. H. Tanke and Bruce Rothschild, *Dinosores: An Annotated Bibliography of Dinosaur Paleopathology and Related Topics — 1838–2001*, New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin No. 20, 2002.

[13] B. M. Rothschild et al., "Epidemiologic Study of Tumors in Dinosaurs," *Naturwissenschaften* 90, no. 11 (2003): 495–500, doi: 10.1007/s00114-003-0473-9.

[14] R. L. Moodie, *Studies in Paleopathology* (New York: Paul B. Hoeber, 1918); L. C. Natarajan et al., "Bone Cancer Rates in Dinosaurs Compared with Modern Vertebrates," *Transactions of the Kansas Academy of Science* 110, nos. 3–4 (2007): 155–158.

[15] Brent H. Breithaupt, "The Discovery of a Nearly Complete *Allosaurus* from the Jurassic Morrison Formation, Eastern Bighorn Basin, Wyoming," in *Resources of the Bighorn Basin: Forty-seventh Annual Field Conference Guidebook*, eds., C. E. Bowen, S. C. Kirkwood, and T. S. Miller (Casper: Wyoming Geological Association, 1996), 309.

[16] R. C. Hanna, "Multiple Injury and Infection in a Sub-Adult Theropod Dinosaur *Allosaurus fragilis* with Comparisons to Allosaur Pathology in the Cleveland-Lloyd Dinosaur Quarry Collection," *Journal of Vertebrate Paleontology* 22, no. 1 (2002): 76–90.

[17] Martin G. Lockley et al., "Limping Dinosaurs? Trackway Evidence for Abnormal Gaits," *Ichnos* 3 (1994):193–202.

第十章

# 恐龙的灭绝

在所有的恐龙谜题中，没有什么比为什么我们今天身边没有暴龙和三角龙的后裔更让人困惑的。而为了理解这个谜题，我知道自己必须去一趟蒙大拿州——那是一些北美最后的恐龙的长眠之地。

当我终于来到充满恐龙化石的暴露岩层时，我才发现奶牛是化石采集的一大障碍。即使离得很远，蒙大拿农场上黑色和棕色斑点发出的连绵不绝的鸣叫也让我没法集中注意力。我试着忽略它们，好专注于地面工作（至少克制住别大声呵斥山脚下的牛群）。一瞬间的走神就可能让你错过眼皮底下的一块恐龙化石，而不经意地把它踩回泥土里。

我本来没打算在蒙大拿州多加勘察，而从公路旅行的上一站博兹曼来到小镇伊卡拉卡也是为了别的目的：与某具君王暴龙的标本来个约会。在我搬去西部前的几个月里，迦太基学院的古生物学家托马斯·卡尔在脸书上招募田野志愿者。他的团队在几年前发现了一只称为“小克林特”的幼年暴龙，现在需要额外的人手来协助发掘。我赶紧请他给我留个位置。挖掘什么恐龙对我来说都是乐事，至于君王暴龙嘛……那就更要算我一个！真走运，卡尔回复说欢迎加入。

但我很快遗憾地获知，这位年轻的暴君暂时没法迎客。我刚到伊卡拉卡（这里安静的主干道两旁都是用字母不干胶贴着“请勿投入鸟类或

动物遗骸”字样的垃圾桶），卡尔和他的野外团队就发来了坏消息：刚过去的异常多雨的冬季让河流变得既深又宽，直到炎热的七月下旬都没退去。“溪水泛滥，我们和小克林特之间有两个街区那么宽的小河。”卡尔沉痛地告诉我。我们没法去河对面挖恐龙。从淤泥里救出的众多SUV让我明白，即使是短暂的暴雨也会让平顺的土路变成泥沼。我们只能等到来年再和小克林特相会了。至少这位恐龙君王不会去别的地方。

幸运的是，波比自然史博物馆的斯科特·威廉姆斯和他的团队也在伊卡拉卡周边的暴露岩层上工作。既然没法接近小克林特，卡尔便决定和威廉姆斯一起探寻别的化石点。我终究还是得到了搜寻恐龙的机会。

地狱溪组的暴露岩层广布于伊卡拉卡周边纵横交错的私人农场和土地管理局属地之上，它们留存下了非鸟恐龙最后的时光。6680万—6550万年前的沉积层记录着由暴龙、三角龙和埃德蒙顿龙统治的时代。虽然这些恐龙及其近亲看似所向无敌，但它们都在白垩纪行将结束时退出了演化舞台。它们的遗骸沉寂于牛蹄之下，又逐渐从山坡上显露出来。

随卡尔和威廉姆斯的勘探队进行第一次田野作业时，我请古生物学家埃里克·莫施霍伊泽（Eric Morschhauser）告诉我地狱溪组岩层的范围，以便做好准备。我读过不少有关地狱溪组的资料，但从没真正在这里工作过。化石猎人一般需要一两天的时间来为正确的含化石岩层建立起“搜索印象”。莫施霍伊泽挥手指向一片青草覆盖、丘陵散布的宽阔山谷。“就是那一片，”他回答道，“都是地狱溪组。”那是一片机遇无限之地，毫无疑问埋藏着恐龙化石。我们只需要把它们找出来。

我在几天之后得到了机会。威廉姆斯将各路古生物学家团队带到一个被称为“斯科特小位点”的棕色裸露土堆前。这里没有保存完美、

骨骼还相互铰接的暴龙骨架，但保存着大量完好的小化石——鱼椎骨、蜥蜴颌骨和恐龙牙齿。它们可能和你在电视上看到的化石狩猎不太一样，但聚集在一起的小化石可以阐明在特定环境里短期生活过的生物。于是我手握一瓶水，一边听着此起彼伏的哞哞声，一边开始慢慢扫视地面。我的目标是可能代表着小骨头的珐琅微光或颜色变化。从远处看，我们这群野外团队肯定像是在寻找隐形眼镜，而且要小心地别踩上去。两者之间其实的确没什么差别。

风雨已经为我们完成了最困难的工作。侵蚀从柔软的沉积物中筛出了满地化石。恐龙牙齿最容易寻找。在一小时的收集活动中，我找到了一颗小暴龙的獠牙、一枚三角龙的牙齿和几颗略有弯曲的恐爪龙（长着镰刀爪的披羽恐龙）牙齿。在弄到早已消失的恐龙的遗骸之后，我便坐在一块平地上将它们细细端详。虽然非鸟恐龙的鸟类表亲会在接下来的数千万年里生活下去，甚至繁荣昌盛，但当时的每一个非鸟恐龙种系都已不复存在。无一例外。

我们无从知道在白垩纪末期究竟谁是最后一位离开的。我们没有什么地质学证据来推测那只不幸的恐龙的最后时光。但坐在遍布化石的山丘上，我想象着是一只三角龙支撑到了最后。毕竟这些长着三只角的巨大植食者在这里的沉积层中最为常见。只要在地狱溪组待上一天，那就很难不和三角龙的头骨残骸打个照面。因此从学术角度来看，它们面对灭绝时具有数量优势，而且可能是和灭绝抗争了最长时间的物种。我一边转动着手里的三角龙牙齿（它不过是某只雄伟角龙的一小部分），一边想象着一只独自站在白垩纪薄暮中的古老恐龙。它已经断了一只角，暴龙领地上的艰苦生活也在它的脸上留下了疤痕。作为种群中最后一名成员，它在太阳沉入地平线下时孤独地守候夜晚，白垩纪就此终结。我也想过也许最后的三角龙更加年轻，同伴的消失让它感到困惑。它在暗夜中悲鸣，等待着再也不会出现的回应。

我们无法知道最后发生了什么。我们只知道最后的非鸟恐龙是小型有绒毛镰刀爪恐龙中的成员，它们会从巨兽的尸体上撕扯下一条条肉块。但不论是哪种恐龙坚持到了最后，这个头衔都不过是毫无作用的安慰奖，毕竟所有非鸟恐龙最后都灭绝殆尽。你或许会认为其中至少有一部分能幸存下来，毕竟恐龙多种多样且遍布全球。但它们的彻底灭绝不止是一场恐龙的灾难——这个可怕的谜团也在时刻提醒着我们，宇宙对于生命和演化的辉煌成就毫无怜悯之心。如果自然大能在谁是幸存者这个问题上改变一点心意，那么暴龙和三角龙的后裔应该会生存至今。但灭绝毫不在乎史前物种对我们来说有多么神奇。

不过，若是非鸟恐龙幸存了下来，那我就不会存在，也不会为它们的消逝而哀伤。一片精细的颌骨化石碎片凸显了这一点。在短暂的休息之后，我慢慢走向大部队所在的搜索场地。我跪在地上一寸寸扒拉起地狱溪组的小草皮和冲积物，好寻找可能在上一场暴风雨后留在里面的化石。

直到一脚踩上去，我才发现那块小小的头骨碎片。这块巧克力色的脆弱化石非常漂亮，它来自上颌骨，里面还镶嵌着两颗煤黑色的牙齿。这不是恐龙，牙齿的排列方式和解剖结构表明它属于小型哺乳动物，后者具有一套各不相同的复杂牙齿，上面长着凸起、凹槽和牙尖。这块小石头是那天最大的收获。小位点里很容易发现恐龙牙齿，但哺乳动物化石极为少见。在把玩化石的时候，我也思索起自己和这个小生物之间的渊源。颌骨属于我的白垩纪表亲，它肯定是个毛茸茸的小家伙，长着不断嗅探的鼻子，鼻子周围还有一圈胡须。这种生物居住在恐龙的世界里，但它们的哺乳动物亲属中有部分成员并没有和伟大的主龙类遭遇同样的命运。人类得天独厚的视角让我可以回顾和深思为什么这些温顺的小动物最终占领了地球。

智人并不是必然要出现的演化成果。和恐龙一样，是偶然和巧合

塑造了我们的历史。虽然我们只经历了 20 万年的时光，但我们的哺乳动物血缘可以追溯到与最早期恐龙处于同一时代的小型食虫者。我在蒙大拿州东部丘陵中偶然发现的精致颌骨就属于这些温顺的动物。我们的祖先和表亲走过了整个恐龙时代。从没有哪种哺乳动物挑战过恐龙的霸权，也没有毛茸茸的暴徒发起过推翻有鳞和披羽统治者的起义。恐龙对环境的适应和最终的成功严重限制了哺乳动物的演化途径。也许有几个以恐龙为食的史前亲属会让我们欢呼雀跃，比如獾一般大小的肉食性哺乳动物爬兽，它们的消化道内容物里含有刚出生的恐龙，但恐龙时代的哺乳动物大都身形渺小，居住在中生代的阴暗角落中。

恐龙的大量消亡在生态和演化上提供了可能空间，白垩纪末期全球灾难的幸存者们抓紧了这些机会，哺乳动物也在其中。这场生命史剧变的意义不仅仅在于恐龙将世界交给了哺乳动物。它堪称有史以来最可怕的大灭绝，飞翔的翼龙、诸如沧龙和蛇颈龙的海生爬行动物、有着精巧螺旋形状外壳的头足类动物（菊石）、古怪的厚壳蛤，甚至部分哺乳动物都未能幸免。到底是什么引发了如此悲剧？

由于对于地球变化的模式的种种先入为主的观念，在接受地球上发生过大灭绝这一事实并将之视为有价值的课题上，人类走过了不少弯路。从 19 世纪早期开始谈论是个不错的选择。当时法国解剖学家乔治・居维叶将生命史分为以大灾难为分界点的数个连续时代。虽然地质学家还没掌握确定岩层绝对年龄的方法，但居维叶时代的博物学家已经凭感觉为地球生命史划分了数个主要时期。第一个时期属于鱼类和其他海洋生命，第二个时期由大型爬行动物统治（比如最终被称为恐龙的动物），而第三个时期是哺乳动物的天下。这些连续的时期之间似乎具有明确的分界。居维叶认为是全球灾害让每个时代的生命类型都发生彻底改变。幸存下来的物种繁衍生息，填补了灭绝物种的空白，

而下一场灾难又会继续进行毁灭和重生的循环（可惜居维叶一直没弄明白每个时代中特征性新生命形态的诞生方式）。

不过，部分由于其作品的翻译者的宗教和科学观点的杂入，居维叶的观点在很长一段时间里被误解为圣经直译主义，被当时越来越了解史前历史的地质学家和古生物学家所排斥。自 19 世纪 30 年代起，地质学家查尔斯·赖尔及同道博物学家提出了一种相反的观点。他们认为，地球处于动态平衡之中，渐进的状态变化占据主导地位。没有证据表明世上发生过圣经中的灾难，坚持“灾变论”者被斥为让宗教凌驾于岩石记录的证据之上。古生物学家认为生命具有相似的发展速度。

虽然在刚发表时遭到了同时代科学家的反对，但查尔斯·达尔文的演化论也对赖尔的“均变论”进行了补充。生命以稳定的速度逐渐演化，而且新物种诞生之后通常会导致来源物种灭绝。地球和居住其中的生物都在以有序且符合逻辑的方式发生着转变。赖尔和达尔文的观点都以下述理论为基础：现在正在发生的地质和生物变化完全可以反映过去发生的变化，因此大灭绝级别的全球灾难毫无立足之地。从没人目睹过如此剧变，而且生命曾遭遇过这种极端压力的看法也被视为诡辩。

基于这种有尊严且渐进的改变，恐龙消失无踪这一事实在 19 世纪和 20 世纪初的古生物学家那里并不是那么出人意料。正如迈克尔·本顿强调的，早期的科学家认为，“恐龙的灭绝不过是生命进程中一个微不足道的波折”。[1]20 世纪初的研究者，比如耶鲁大学的理查德·斯旺·勒尔就认为，恐龙是等到了早该降临的“寿终正寝”。[2]“恐龙的灭绝算不上奇迹，”他写道，“它们能活这么久才是。”自然赠予了恐龙不该拥有的漫长历史。勒尔时代的古生物学家还声称，恐龙最终是被内在某种遵循古怪法则运行的演化自毁系统所打败。

从小学到大学我都被灌输，科学家立刻接受了达尔文的演化论。但和教科书里的故事正相反，博物学家没有立刻喜迎演化由自然选择推动这个概念，特别是古生物学家。他们对这个理论百般挑剔：自然选择的力量似乎不足以改变生物体，而对于相信是上帝对大自然施以仁爱的科学家来说，这个机制对造物来说又太过暴戾冷漠。因此，在背景各不相同的生物学家于 20 世纪 40 年代再次确认自然选择的确是演化改变的主要动力之前，很多古生物学家都更青睐其他理论。他们相信是内在动力使生物体走上不断完善自身的康庄大道，或是晦暗不明的生物需求控制着物种的诞生和死亡。

勒尔同意其中的部分观点，并认为恐龙完美地展现出了神秘内在动力带来的演化。在他看来，巨大的体型、诸如棘突和角的多种装饰结构和普遍存在的“退化”外表都代表着日益衰竭的演化活力，而这些特征恐龙统统具有。剑龙和其他甲龙拥有震撼人心的外表，但勒尔和其他古生物学家认为这些奇形怪状的生物在长角和盔甲上过度耗费了生物能，因此很难保持其他生理和生物系统正常运行。最庞大的恐龙也是如此，比如高肩长颈的腕龙。勒尔及其同道都坚信，是过度演化让可怜的恐龙步向灭亡。恐龙因为长得太大太古怪而反受其害这个看法也迅速在公众的想象之中散播开来。反对第一次世界大战的反战备委员会将剑龙“金哥”（Jingo）作为自己的吉祥物，以便用这个“满身盔甲的无脑生物”彰显囤积军备的危险。恐龙也是反工业化者的好帮手。肯定都是些蠢货的巨大蜥脚类代表着大型企业巨头，而敏锐的小生意人——生意场上的哺乳动物——势必要取代爬行动物群的位置。没人想“步恐龙的后尘”。退化和拒绝改变最终带来了死亡，这真是最让人难堪的灭绝方式。

勒尔在耶鲁皮博迪自然史博物馆的同事乔治·威兰是没有跟从这股潮流的古生物学家之一。[3]不同于其 20 世纪初的同事，威兰认为恐

龙并没有因内在原因而注定要灭亡，而是自己把自己吃上了绝路。受到之前小型哺乳动物经常敲开恐龙蛋这个理论的启发，他提出大型蜥蜴、蛇、甚至暴龙和其他兽脚类都会大量吞吃蜥脚类的蛋，这种需求最终超过了产蛋量。威兰推测，恐龙会为赶走这些蟊贼而守护自己的巢，但即便是最贴心的母亲也会在一群窃蛋贼面前落败。

威兰的论文并没有给恐龙的灭绝盖棺定论——还差得远呢。古生物家不得不面对一桩积压了 6600 万年的悬案，又没有神秘小纸条告诉他们“凶手是管家”。非鸟恐龙灭绝之谜是疑云罩顶的科学难题，似乎根本没法解决，于是任何想到古怪观点的家伙都想一吐为快。在这个被迈克尔·本顿称为“业余人士”瞎猜的漫长阶段，出现了很多稀奇古怪的观点。古生物学家和自封的恐龙专家把能想到的所有小伤小病和有害环境因素都提了出来。全球变暖、全球变冷、有毒植物、极端愚蠢、白内障、椎间盘突出、宇宙辐射、化学物质让蛋壳变薄，甚至性欲减少，而这还只是 20 世纪中一百多种理论里的少数几个代表。“整个过程看上去是如此轻松而有趣，每个人都觉得自己有机会（即使不是责任的话）去解决恐龙灭绝的问题……”本顿解释道，“好像一提到‘恐龙灭绝’，科学家就松了一口气，感到大可摆脱常规的假说–检验方法的束缚。”恐龙消失必然有其原因，而且每个人都能在这个领域插一手，哪怕他们的看法只有极微弱的可能性。

据我所知，目前还没人提出 CIA、克格勃和卡斯特罗是恐龙最终灭亡的原因。话虽如此，着实夸张的假说还是层出不穷，包括外星人将恐龙狩猎到灭绝。不管《远古外星人》里怎么说，这个说法是无稽之谈。但它如此流行，以至于东犹他州立大学史前博物馆专门把外星人灭绝说与疾病以及冰河期一起列为未经证实的假说。（标牌上一本正经地写道：“化石记录里没有关于外星人和外星人垃圾的证据。”）

但我最爱的奇异学说是由昆虫学家斯坦利·弗兰德斯于 1962 年提

出的。[4]那是毛毛虫大战恐龙版的大卫大战歌利亚（或者说，魔斯拉大战哥斯拉）。他指出，“爬行动物有一个与生俱来的弱点，即对大量植物有高度需求”，而白垩纪毛毛虫会与角龙类、鸭嘴龙类、蜥脚类以及其他植食性恐龙争夺食物。恐龙虽然十分巨大，但毛毛虫具有数量优势。在他的理论里，幼虫们迅速蚕食世界各地的森林，最后遮天蔽日的蝴蝶从饿死的恐龙尸体上振翅飞过。“因此，”弗兰德斯总结道：“巨大的爬行动物在充斥着环境剧变、大陆抬升和不同食物的亿万年里存活了下来，却被卑微的毛毛虫逼上了绝路。”我猜，大家都有自己喜欢的最终以小胜大的弱者。

当然，所有瞎猜都是因为非鸟恐龙和它们倒霉邻居的灭绝规模极为庞大，很难想象什么事件才能导致这样的悲剧。随着时间的推移，这个谜题让人感到越来越棘手。各种各样的恐龙是在地球上生活了 2.3 亿年之久的奇妙生物，它们还没走到灭绝和衰败的地步——非鸟恐龙的历史在全盛时期戛然而止。事实上，随着古生物学家对恐龙不断做出更准确的复原，三角龙及同时代生物消失的原因也变得越来越复杂。会是什么偏偏让恐龙全部死去？怎么会发生让它们彻底灭绝的惨剧？可能凶手的范围已经大大缩小，但找出一件可能的凶器是一回事，而查明它如何以及为什么被使用则是另一码事。

现在最主流的假说是小行星、陨石或类似的地外岩块撞击地壳。其他几个有竞争力的观点主要包括气候变化、海道减退和大规模火山爆发，但都不及撞击说深入人心。不过我们知道这些因素肯定也都发挥了一定作用。对岩石记录的深入研究表明，白垩纪末期的地球发生着非常剧烈的变化。随着全球气温转寒，两极冰川开始扩大，分开北美和其他大陆的温暖浅海也随之消退。同时，德干暗色岩（Deccan Traps）也开始发生持续性的大规模火山爆发，将温室气体喷入大气，进一步改变了气候和天气模式。

虽然的确发生过这些灾难，但它们都在古生物学界的“撞击假说”面前黯然失色。人们从没为气候渐变理论拍摄过大制作的自然灾难电影，但地外火流星造成灭绝的观点在 1998 年夏天催生了两部大片以及一首空中铁匠乐队为《绝世天劫》创作的单曲。小行星撞击带来了一个毁灭性的简单后果——恐龙被无法预料的不幸打击赶出了演化舞台。借用尼尔·杨著名的歌词，恐龙是轰轰烈烈而死，而不是苟延残喘而亡。

科学家如何发现小行星撞击一事是个老生常谈的故事。但这个观点让我们对恐龙遭遇的认识发生了翻天覆地的变化，因此发现过程和它带来的反响依然值得一谈。20 世纪 70 年代晚期，地质学家沃尔特·阿尔瓦雷斯（Walter Alvarez）正在意大利的古比奥研究历史最短的白垩纪岩石，此时一层厚度 1.2 厘米左右的黏土引起了他的注意。他认为这层黏土是恐龙时代和哺乳动物时代的分界线。换言之，他推测该黏土层（现在古生物学家将之称为 K/Pg 边界，即白垩纪–古近纪边界）形成于白垩纪之末的大灭绝时期。因此，他认为只要能计算出黏土带形成所用的时间，那就可以测量出灾难的发生速度。

阿尔瓦雷斯向自己的父亲——诺贝尔物理学奖得主路易斯·阿尔瓦雷斯寻求帮助。老阿尔瓦雷斯建议使用时间测量技术，这最终激发了一场有关恐龙命运的大论战。他知道陨石和其他足够大的宇宙漂浮物会以基本恒定的速度穿透地球大气层，这些地外岩石含有较多地壳里难得一见的元素，其中之一是被称为铱的铂族金属。科学家推测，如果这种地球上罕见的元素以恒定的速度累积，那么他们就能利用黏土层里的铱含量来绘制白垩纪末期灭绝的时间线。研究发现，古比奥黏土层的铱含量高得出奇。这并非孤例：阿尔瓦雷斯的团队在调查来自丹麦和新西兰的其他 K/Pg 样本时发现，这种铱高浓度是一个具有一致性的真实特征。

黏土层里的铱丰度不是长期缓慢沉积的结果。相反，在 1980 年发表于《科学》上的一篇论文中，阿尔瓦雷斯的团队猜测，过量的铱来自一颗巨大的小行星，而这颗小行星撞击地球的时间正是在白垩纪大灭绝时期。[5]古生物学家几十年来都在猜测缓慢的环境渐变是导致灭绝的真正原因，而这个理论恰好相反。

并不是阿尔瓦雷斯的团队首创了死神来自天外的观点，但他们第一次得出了支持性的物证。几年前，古生物学家戴尔·拉塞尔（Dale Russell）和物理学家华莱士·塔克（Wallace Tucker）就曾提出，是超新星引发了白垩纪末期的灭绝，但这个看法没能流传开来。而阿尔瓦雷斯的团队发现了深藏于石头中的答案。富含铱的土层第一次不可否认地证明了地球上曾发生过奇怪的事件。

1985 年左右，我对恐龙的热爱开始让我父母把所有和恐龙有一丁点关系的东西都给录下来，那时白垩纪末期的灭绝之谜似乎已经真相大白：不过告诉我答案的不是阿尔瓦雷斯，而是超人。1985 年，克里斯托弗·里夫（在我心中，他才是唯一的超人）在中生代奇趣节目《恐龙！》里担任了旁白。这档节目收集了大量有关恐龙的信息，从电影片段到新发现应有尽有。最精彩的部分当数出自菲尔·蒂皮特（Phil Tippett）之手的超棒恐龙定格动画。（虽然不是很准确，但蒂皮特的作品还是比充斥于有线电视网里的众多 CGI 恐龙好得多，那些都是只做了廉价渲染的呆板家伙。）节目里没花太多时间来为恐龙灭亡埋伏笔。才开始六分钟，一颗险恶的小行星就旋转着穿过了宇宙真空，此时里夫问道："是什么从天而降的恐怖之物终结了恐龙？"画面随后切到一对正在亲昵的埃德蒙顿龙，这些温和敏感的植食者带着它们唯一的孩子穿过危险的白垩纪大地，而下一棵树后面可能就埋伏着饥饿的暴龙。它们不是没脑子的讨厌鬼，而是具有家庭观的独特生物，最后却被可

怕的意外所扼杀。

小行星在节目的高潮时撼动大地。起初没发生太多事情，不过是树木倾倒，暴龙短暂地失去了平衡。但死亡慢慢降临到恐龙身上。尘埃遮蔽了太阳，杀死了植物。一只鸭嘴龙母亲孤独地站在枯焦的世界里，对着一窝碎裂的龙蛋悲鸣。不久之后，它也消失无踪。一只绝望的斗鸡眼负鼠从三角龙的白骨下蹒跚地走向阳光，宣告起哺乳动物时代的来临。非鸟恐龙毁灭的原因并非不断累积的内在缺陷，也不是暮年垂垂老矣。它们只是经历了相当糟糕的一天，并再也没有恢复过来。




非鸟恐龙的灭绝是来自宇宙的不幸转折。（麦克·雅各布森绘）

我在 20 世纪八九十年代看过的纪录片几乎都重现了这个场景。有一颗小行星于某日撞击地球，让世界包裹在尘埃和碎片之中。而在决定命运的这一日到来之前，恐龙依然繁荣昌盛。哺乳动物、蛙类、鳄类、蜥蜴、龟类和鸟类的体型很小，可以躲过灾祸，但恐龙面前只有绝望。生存下来的幸运儿在灾难前就已经演化出了适应环境的特征，而没有生存所需特征的倒霉蛋便就此消亡。全球性毁灭似乎很说得通。直径十千米的小行星撞击地球怎么可能不引发环境巨灾呢？恐龙的末日不是逐渐发生的衰落，也不是被被认为更高等的哺乳动物所取代。埃德蒙顿龙和它们的同类是在全盛时期遭到重创，毫无防备地为天外偶然事件所害。在我们的时代，这场难以计量的毁灭也反映着人们在冷战时期对核毁灭的恐惧。冷战双方核互毁的可能性让大家对“核冬天”满怀忧虑，而有人认为恐龙在千万年前就遭遭受核冬天的命运，这更为这种担忧火上浇油。

虽然我在电视上看到了这些东西，但 20 世纪 80 年代中期的大部分古生物学家都不认为白垩纪灾难是宇宙冲击的结果。用“撞击假说”这种神展开来解释全球诸多物种的灭绝似乎太轻率了。传统观点认为气候变化、白垩纪中海洋的衰退和大规模火山活动后的生态改变才是灭绝的诱因。阿尔瓦雷斯团队的成员都不是古生物学家，这一事实更加雪上加霜。恐龙专家在考察暴露岩层、研究动物骨骼和试图探测生命的脉动上花了难以计量的时间，结果一群傲慢的外行人跳出来宣称所有的艰辛工作都找错了方向。

古生物学家对阿尔瓦雷斯之争带来的社会和政治影响心怀怨愤。1985 年，《纽约时报》的一位记者传递了古生物学家的担忧，他们害怕知名期刊会封杀批评撞击假说的文章。[6]在撞击假说征服了公众的想象力之后，全球气候、海平面和栖息地的改变杀死了恐龙等竞争假

说突然变成了争议性观点。撞击假说如此吸引人，如此激动人心，并对古生物学家在化石记录里找到的证据根本不屑一顾。大家迅速接受了这个理论，这让罗伯特·巴克尤为光火。他告诉记者说：

> 这些家伙的傲慢自大简直让人难以置信。他们对真正的动物会怎么演化、生活和灭绝几乎一无所知。除了无知，这群地球化学家还以为只要摇摇神奇机器的把手就能掀起科学革命。恐龙灭绝的真正原因肯定与气温以及海平面变化有关，还有迁移和其他复杂事件造成的疾病传播。但大家都觉得这些灾难算不了什么。老实说，他们的意思是："我们这样的高科技人才已经得到所有答案了，你们古生物学家不过是找石头的原始人。"

很多古生物学家都和巴克感同身受，但就像在任何争论中一样，其中一些研究者转而认同阿尔瓦雷斯团队的观点。戴维·劳普是早期转投撞击假说的古生物学家之一。他专攻千万年中的大规模演化和衰退模式，这是古生物学的中流砥柱。这门学科告诉我们，化石研究的对象不是我们想象中智力停滞不前的蠢货，而是演化生物学里最关键的成员之一。劳普承认自己一开始对撞击假说有本能的抵触，但后来改变了看法。在一篇有关这场（持续了十余年）争论的文章中，他好奇为什么自己曾如此反感这个假说。[7]为什么古生物学家会对这个观点做出几乎"完全一致"的反应？

传统必然是一方面的原因。"我在 20 世纪 50 年代学习古生物学时，"劳普写道，"老师告诉我，大部分撞击地球的陨石都来自于'早期撞击'的较短时期，当时太阳系形成产生的碎片正在聚集。"人们曾经认为彗星、流星和小行星都不是地球历史中的常客，而古生物学家在很大程度上无视了这一事实，即有越来越多的证明表明，此类星体（有

时候体积颇大）仍在造访地球。所以白垩纪末期的撞击并不是需要特殊机遇的罕见现象。这一观点也与地球长期以来的撞击史相吻合。

就在阿尔瓦雷斯的团队提出颇具争议的理论后不久，人们终于找到了真正的陨石坑。石油地质学家多年前就发现了这个位于尤卡坦半岛附近、直径约 180 千米的凹坑。但大家在十年之后的小行星论战里才明白这个大坑的意义。1991 年，地质学家艾伦・希尔德布兰德和合作者将陨石坑与阿尔瓦雷斯团队发现的铱证据联系了起来。[8]这道地球的伤口被称为希克苏伯鲁陨石坑。从它的位置来看，小行星撞击地点距离暴龙、三角龙和其他著名的白垩纪末期恐龙很近，足以将它们瞬间抹杀。[我的初级古生物学教授威廉・加拉格尔（William Gallagher）曾在课堂上说，撞击会带来一波毁灭性的野火、蒸汽和碎片，它们能“立马爆炒”所有北美恐龙。] 于是有无撞击发生一事得到了定论。地球上的生命模式似乎顿时变得截然不同。

直到关于撞击假说的争论开始之前，大部分古生物学家都坚信达尔文对于灭绝的看法，即这是生存之战的结果。更适应环境的新生命形态胜过并取代了它们的前辈，因此生命残酷又渐进地向前流动。随着人们对化石记录和恐龙本身了解得越发深入，传统观点也逐渐遭到摒弃。并没有明显的征象表明大灭绝的受害者的确比较落后，或者幸存者具有绝对优势。恐龙的很多缺点都能和灭绝联系起来，人们也确实做出了这样的结论。但正如劳普所言，如果灭绝的是哺乳动物，那我们也能从它们身上找到很多“生物学上的失败之处”。（并且，马克・诺雷尔及其同事最近的一项研究表明，恐龙在白垩纪行将结束的时候依然生机勃勃。[9]当时没有发生表明它们气数将尽的全球性恐龙衰退。）

这是撞击假说中最令人不安的一个方面。大灭绝中的死亡一定程度上取决于运气；没有哪个物种能预见生存的考验，也没法做好准备。

有些物种的自然史会让它们更容易被灭绝，而其他物种可能更加强韧。然而，发现灭绝可能的诱因与阐明这个事件到底怎么彻底抹杀掉一个物种是两码事。我们知道有一颗巨大的小行星在6600万年前撞击了地球，但在撞击和最后一只非鸟恐龙灭绝之间发生了什么？

我们对演化史上的换岗的所有知识几乎都来自蒙大拿州及相邻各州间的一小片地方，现在我们仍在探寻当时到底发生了什么。大灭绝无疑是全球性灾难（没有确切的证据表明恐龙生存到了古新世），但对于灾祸即将发生之时的生命，我们所知道的一切几乎都来自于北美西部的一片狭长土地。恐龙纪录片里的末日必然以暴龙、三角龙、腱龙和埃德蒙顿龙为主角，这不仅是因为它们名声最响，还是因为只有这个恐龙组合作为白垩纪最后的种群得到了深入研究。欧洲和蒙古也有白垩纪末期化石点，其他地方或许还有更多，但我们现在才刚刚开始重建小行星即将撞击之时的世界。

白垩纪末期没有留下清晰全面的前后对比照片，非鸟恐龙灭绝依然是极难解答的谜题。大家知道灭绝发生的时间，现在还知道一切都发生得很快。确实，有一颗小行星在大规模火山爆发、气候改变和海平面下降的时候撞击了地球，但一个或所有这些不同因素到底是如何将我最爱的动物赶尽杀绝的？将大灭绝简单地归因于一起事件是不够的。我们得查明某个原因通过什么方式诱发了生态级联反应并最终使某种动物幸存或灭绝。

小行星撞击如此罕见又耸人听闻，必然会在多年的争论中占据主导地位。从现有证据来看，对于恐龙为何会退出曾被古生物学家威廉·迪勒·马修称为“生命的辉煌大戏”的演化史，这是最简单的一种解释。尽管如此，到底是什么抹杀了恐龙的争论仍然没有终结。

最能反映这种现状的莫过于由2010年《科学》上一篇论文引发的学术混战。[10]这篇出自四十多位地质学家和古生物学家之手的论文再

次确认将撞击假说作为白垩纪末期大灭绝的主因，认为有充分的证据表明是小行星撞击导致大灭绝。但有古生物学家提出了异议。不久之后，《科学》发表了数个其他团队的不同意见。恐龙专家和其他脊椎动物古生物学家特别强调了小行星撞击可能在灭绝中发挥着主要作用，但也不能忽视海平面改变和火山活动等其他因素的影响。

对于这场你来我往，我询问了几位古生物学家来了解一下目前的战况。罗德岛大学的古生物学家戴维·法斯托夫斯基（David Fastovsky）多年来一直支持撞击假说，他告诉我陆地和海洋的全球模式都表明灭绝是由单一的灾难性事件引发的。小行星撞击最符合这个可怕的走向。他还说多原因这个说法“让他产生了哲学上的困扰”，因为这些原因不能解释全局，而是“只能解释一部分问题”。迄今为止，小行星撞击是灭绝主因的理论已经在前进的道路上克服了无数考验和批评。

当我问起灭绝问题时，马克·古德温提出了一个不一样的观点。撞击假说“算是有说服力的恐龙灭绝原因”，它“确实对环境造成了一定压力”，但我们掌握的知识还不足以确定这能全盘解释白垩纪末期的大灭绝。古德温还以现在对气候变化的科学研究为例。“我们都同意世界在变暖”而且人类就是罪魁祸首，“但我们对变暖的速度和模式有不同看法”。争论的焦点不是明显的理论差异，而是需要更多数据和更高级技术才能确定的“细节”，而目前我们还不具备这些条件。

我也给中生代哺乳动物专家安妮·韦尔（Anne Weil）打了电话。毕竟有些哺乳动物族系也在白垩纪末期大为衰退或消亡。也许研究我们小亲戚的记录能让我们更好地理解恐龙和其他哺乳动物在白垩纪末期遭遇了什么。“这是哺乳动物史上最重大的事件，”韦尔告诉我，“简直不可思议。”生活在白垩纪末期的哺乳动物有一半灭绝，而幸存的成员迎来了下一个地质时代的黎明。它们成为了现今野兽的祖先。事情的关键在于查明白垩纪末期和古新世初期之间的一小段时间里发生了

什么，然而没有数据能明确表明灭绝是持续了几周还是几千年。我们的技术还没有精良到能够以天、月和年为单位追溯小行星撞击后生态系统的变化，于是我们也没法自信地宣布撞击就是灭绝的唯一诱因。“我不怀疑有过小行星撞击，”韦伊表示，“但请告诉我它是怎么大开杀戒的。”

在撞击假说重新激起关于非鸟恐龙和诸多同时代生物遭遇的争论的三十多年之后，我们才刚刚开始理解在白垩纪末期究竟发生了什么。就我个人而言，我相信古生物学家和地理学家已经发现了灭绝的主要因素，但我们还需要做大量的工作才能理解这些因素在生命史上这一最惨烈片段中各自发挥的作用。对于白垩纪为什么会骤然终结，我们仍然欠缺全面透彻的解释。在还有诸多谜团未解之前，我不会着急说案件已破。

关于那场大灭绝，我们唯一确定的是，迅速发生的荒芜永远改变了地球的生命史。正如韦尔所言，这次事件让哺乳动物得到了重大的演化机会，而恐龙族系几乎全军覆没一事也不可挽回地改变了我们的世界。恐龙并非偶然出现于地球。它们是相互关联的生态系统的一部分，而它们在地球上占据的这段漫长历史也为我们今天所见的生物的粉墨登场帮助搭好了舞台。

古生物学家杰克·霍纳曾表示他对恐龙是怎样死的没有兴趣。他对恐龙是怎样活的才感兴趣。他在 20 世纪 80 年代说了这番话，那时正值灭绝之争的高潮。我不能责怪他想和混战撇清关系的心情，但恐龙的生和它们最终的死联系紧密。如果能够更好地了解恐龙生物学，那我们就能开始探究为什么鸟类恐龙幸存了下来而大多数巨兽都横遭灭绝。细细咀嚼有关恐龙灭绝的理论会带来新的发现，让我们得到未曾料到的恐龙生物学信息。我们对恐龙了解得越多，它们就显得越发复杂。我们一边找到答案，一边发现新的问题。如果恐龙挺过了亿万

年来的气候改变、大陆漂移，甚至大灭绝，那为什么大部分恐龙都在6600万年前消失殆尽？恐龙必然能为生存做出灵活的改变。披羽的鸟类恐龙就是成功者。但让人困惑的地方在于，徘徊在我们梦中的非鸟恐龙却没能做到这一点。

## 注释


[1] M. J. Benton, "Scientific Methodologies in Collision: The History of the Study of the Extinction of Dinosaurs," *Evolutionary Biology* 24 (1990): 371–400.

[2] R. S. Lull, *Organic Evolution: A Text-book* (New York: The MacMillan Company, 1917), 220–225.

[3] G. R. Wieland, "Dinosaur Extinction," *American Naturalist* 59, no. 665 (1925): 557–565.

[4] S. E. Flanders, "Did the Caterpillar Exterminate the Giant Reptile?" *Journal of Research on the Lepidoptera* 1, no. 1 (1962): 85–88.

[5] Luis W. Alvarez et al., "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction," *Science* 208, no. 4448 (1980): 1095–1108.

[6] Malcolm W. Browne, "Dinosaur Experts Resist Meteor Extinction Idea," *New York Times*, October 29, 1985, www.nytimes.com/1985/10/29/science/dinosaur-experts-resist-meteor-extinction-idea.html?pagewanted=all.

[7] D. M. Raup, "The Extinction Debates: A View from the Trenches," in *The Mass-Extinction Debates: How Science Works in a Crisis*, ed., William Glen (Stanford, CA: Stanford University Press ,1994), 145.

[8] A. R. Hildebrand et al., "Chicxulub Crater: A Possible Cretaceous/Tertiary Boundary Impact Crater on the Yucatan Peninsula, Mexico," *Geology* 19, no. 9 (1991): 867–871, doi: 10.1130/0091-7613(1991)019<0867:CCAPCT> 2.3.CO;2.

[9] Stephen L. Brusatte et al., "Dinosaur Morphological Diversity and the End-Cretaceous Extinction," *Nature Communications* 3, article no. 804 (2012), doi: 10.1038/ncomms1815.

[10] Peter Schulte et al., “The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary,” *Science* 327, no. 5970 (2010): 1214–1218; J. D. Archibald et al., “Cretaceous Extinctions: Multiple Causes,” *Science* 328, no. 5981 (2010): 973.

尾　声

# 我心爱的“雷龙”

在我还是个小不点的时候，我满心期盼着能养一只宠物恐龙。我一直巴望着有人能在遥远的丛林里发现一只，或者从迈克尔·克莱顿笔下的遗传工程学家那里弄点线索,好让科学家赶紧想办法复活恐龙。那时我完全不知道自己的虎皮鹦鹉“小甜甜”就是恐龙。不过就算我知道，它也不是能让我天天骑着去上学的蜥脚类。恐龙就这样退出历史舞台真不公平。我想让它们都回来。而现在，在初遇“雷龙”二十多年之后，这样说可能有点奇怪，但我很高兴那些最奇妙迷人的恐龙已经灭绝。

有时我仍想象着某天早晨拉开窗帘会看到一只迷惑龙在我家前面的草地上捋树叶。我不否认做过这样的白日梦，而要是真的实现了，我定会二话不说，欣然接受。但我所持的态度已不同于小时候的。现在我知道死去的恐龙比活着的恐龙对人类更有利。就像在星战里欧比旺·肯诺比警告黑武士的，他死后会比他活时更强大，我们从恐龙身上学得到的教训和智慧只能源自它们悲惨的灭亡。

如果迷惑龙和其他恐龙没有早早消失,那它们在我们眼里也就不会这么特别。即使知道鸟类就是恐龙，我们也还是更加喜爱它们的中生代亲戚。鸟类实在是太过常见。紧随白垩纪末期大灭绝而繁荣昌盛起来的

各式奇异但现已成化石的哺乳动物也受到了这样的待遇。它们像恐龙一样令人咋舌，但又太过于接近今天生活在我们身边的动物。为什么人们总是在追寻恐龙，我认为很大程度上是因为它们仿佛来自另一个世界。6600 万年以来都没有任何动物能与它们比肩。灭绝的深渊让恐龙成为历史，也让它们越发迷人。想想我们最爱的恐龙吧——迷惑龙、暴龙、三角龙和剑龙，在我们的时代里根本没有哪种生物能望其项背。

关键在于时间。假如迷惑龙的子孙逆天而行活到了现代，那我们就可以通过观察、学习和细细钻研这些动物来揭开它们史前同类的种种奥秘。当然，我们没有这样的蜥脚类血脉告诉我们答案。但至少有关恐龙的真相都安稳地保存在它们的残骸里。想要了解迷惑龙之类的恐龙是如何生活的，我们就只有细心地将化石骨骼里的信息慢慢拼凑起来。最激动人心的恐龙以石头的形式向我们呈现出了昔日面容，而科学正在为解读它们的骨骼而不断努力。

长久以来，我们一直都将恐龙看作怪异的史前小插曲。它们曾代表着活该灭绝的爬行动物。科学家曾错以为演化是循序渐进的过程，而人类端坐光荣的顶峰，那时他们眼中的恐龙是生命历程中一段古怪（就算有些魅力）的小意外。但我们现在有了更深入的认识。恐龙不仅代表着已灭绝和消失的史前族系，也是达尔文所谓“无数极其美丽奇妙的生命形式”中最引人惊叹的成员，在演化舞台上占据了重要地位，甚至让我们不禁怀疑起自己在地球自然和生命史中的位置。

全世界的文明都发现过史前的骨头，而那时还没有古生物学家来为我们现在知晓和热爱的恐龙分类。不过前人已经认识到这些遗骨属于已然灭绝的生物，并基于它们编造出了有关怪物、英雄和神祇的传说。或许前人的许多结论不符合我们今天的科学发现，但这里的重点在于，恐龙的存在需要得到解释。早在我们创造出“恐龙”这个词来描述它们之前许久，这些远古骨架就已经让人们开始想象史前世界的

模样，思考从中能得到什么线索来回答现在的世界如何而来的问题。

古代观点的阴影直到最近才被扫清，而显露出的真正模样的恐龙比我们所能想象的都更为古怪。这是恐龙的又一个大秘密。尽管我们可能抱怨“雷龙”的消失，或感到披羽的伶盗龙根本不算伶盗龙，但过分的感伤也会让我们忽视恐龙研究中取得的长足进步。如果好好去看证据，那毫无疑问我们今天还原的恐龙要比它们早先的形象美丽复杂得多。哪个更迷人？是一只“雷龙”永远都被束缚在飘满浮渣的侏罗纪池塘里，过着迟缓的泥塘打滚生活；还是一群整洁鲜艳的迷惑龙踏过长满蕨类植物的泛滥平原，弯曲的尾巴随队列行进而在空中扭来扭去？恐龙从未如此辉煌。“雷龙”最好封存在过去，温柔地提醒着我们恐龙过去的形象，以及有关恐龙的研究我们取得了多少成就。

曾经有个朋友问我会不会因为科学家毁了自己儿时的恐龙小伙伴而生气。我回答说，这事很复杂。我小时候的图书馆书籍和电视节目里充斥着橄榄色的蠢笨恐龙，它们的消失并没让我感到不快。儿时初遇的恐龙现在被彻底重构成了更鲜艳、更生动，并且老实说，也更有趣的生物。也许是因为那时候还足够年轻，所以我不假思索地全盘接受了新形象。但我也不是薄情寡性之人，所以有时也会从书架上抽出一本不幸过时的恐龙书刊,花上几分钟来想象一下愚蠢的冷血爬行类，当初正是它们让我燃起了对恐龙的热爱。我会满怀温情地将它们牢记在心，但我不需要让“雷龙”和其他老旧的恐龙去而复返。我满足于把它们留在童年的过往。我会从远处爱着它们，让它们安全地待在我的回忆深处。

但另一方面，也有一个理由让我不要忘记儿时的恐龙：甚至过时的恐龙也能向我们透露秘密。我所见过的恐龙中没有哪头能像耶鲁皮博迪自然史博物馆的迷惑龙那样让我百感交集。我在 2010 年秋天的会

议中找了个机会去拜望这位老姑娘。到晚宴的时候，同事们就会挤在展厅里喝塑料杯子装的廉价葡萄酒，我在那之前瞅个空溜出了会议室去看博物馆的恐龙。

站在庞大的长颈骨架前面，我感觉自己又成了一个孩子。昏暗的大厅让人想起早年在纽约的美国自然史博物馆的经历，当然还有其他挤满幽暗恐龙的黑暗博物馆。但我对恐龙的了解已经不能和儿时同日而语。首先，我知道这些骨头来自怀俄明州的科摩崖，多年前由马什的野外团队发现。我也十分明白它到底叫什么名字。但我不会否认马什为这具骨架命名的名称。这就是第一只“雷龙”。

马什过世后，博物馆在布置恐龙展览的时候按照当时的观点搭建了这具蜥脚类骨架，让它成了尾巴拖在地上的呆笨怪兽。展厅墙上的巨大壁画着重凸显了这个形象。鲁道夫・察林格在 20 世纪 40 年代晚期绘制的干壁画《爬行动物时代》重现了这种身处侏罗纪沼泽的庞大恐龙。我曾见过壁画的仿真海报和图片，但这些复制品都无法真正展现原件的精美。画中的“雷龙”也不遑多让。在它采食古老池塘里的柔软植物时，其彩虹般的鳞片在阳光下熠熠生辉。这么多年来，这幅壁画一直是“雷龙”形象的标志性代表，即便下面的骨架早已改头换面。在 20 世纪 70 年代的恐龙文艺复兴中，古生物学家将迷惑龙真正的头骨放回了其精致脖子的顶端。

这具骨架本身就记录了古生物学的大半历史。从马什的年代到恐龙文艺复兴，我们对恐龙的看法都在不断改变，迷惑龙便是这段历史的缩影。耶鲁的迷惑龙不是一举得到完美复原的史前生命。警察乐队完全弄错了——我们能从伟大“雷龙”的过去学到经验教训。

这种恐龙可能还会发生变化。除了对于其生物学的微调和更新，现在又有流言说“雷龙”有望复活。有化石传言称，有两颗特别的头骨表明秀丽迷惑龙与其他两种迷惑龙有显著区别。如果传言属实，并

得到进一步研究的确认，那么古生物学家就有理由复活秀丽雷龙。

在这个古生物家如何越来越细致地研究恐龙的生动故事中，名称之争不过是个注脚。自首次发现以来，我们眼中迷惑龙的形象逐渐从对爬行类的拙劣模仿变成了对一种真实而迷人的生物的详实描述。而这在我看来正是老恐龙最弥足珍贵的地方：它们记录下了我们对于恐龙本质的认识是如何演化的。新的恐龙让我激动着迷，但过时的骨架和博物馆陈列在让我时常感到沮丧之余，也让我心怀感激。对比我们现在所知的，并结合当时的历史语境，这些旧恐龙能让我们意识到我们对于恐龙的认知发生了多大变化。迷惑龙不仅仅是一具漂亮的标本，它还强有力地阐明了科学是如何运作的：即使再也没法见到活生生的个体，但事实、理论和想象的碰撞依然能让我们对它们展开研究。



在耶鲁皮博迪自然史博物馆里，一只恐爪龙从阴影中一跃而起。这只“热血”恐龙和展厅别处过时的骨架一同展示了我们对恐龙的了解发生了什么变化。（照片由作者拍摄）

今天的知识会被未来的发现所检验和质疑。古生物学家现在能够以前所未有的精确手法研究化石记录，生活在这样的时代让我备感兴奋。随着新的恐龙形象走入大家的视野，老旧的形象也在慢慢消失。我们对恐龙本质的认识也会一代代地逐渐改变。当我还是个孩子时，恐龙有羽毛的观点还纯属猜测和异端。而现在，我们发现大部分恐龙族系可能都长着鬃毛和绒毛。随着科学家和艺术家将这个观点栩栩如生地复原出来，陪伴我们下一代长大的将是毛茸茸的恐龙。

要说我在恐龙的陪伴下学到了什么，那就是我们在目睹周遭世界不断改变的时候拼命地要把它们留在心中。在即将完成为这本书所做的研究之前，我展开了最后一趟野外之旅。多亏了一股反常的暖流，我才有机会在三月中旬去大升梯–埃斯卡兰特国家纪念地,不然这个季节的冰雪和严寒一般都会把化石猎人们困在屋子里。我和两位犹他州立大学的研究生要与丹佛自然和科学博物馆的野外团队碰面，然后一起寻找晚白垩世恐龙。

此处是化石丰富异常的梦幻之地。其他地方（比如国家恐龙化石保护区的三叠纪暴露岩）的恐龙化石少得可怜，随便一块骨骼或牙齿碎片都是重大发现。但在这里，恐龙和它们的邻居随处可见，化石猎手还能享受随意挑选收集品的奢侈待遇。骨头在干燥的山丘上四下散落，这有时也会让人颇感遗憾。我在看到化石碎片露出山丘时总是会有一点小激动，但在这里，很多恐龙化石由于长期暴露于阳光风雨之中而在最近破碎成了无数石块。

考察的第二天早上，我和丹佛博物馆的古植物学家伊恩·米勒（Ian Miller）一道走向盆地里的考察点。为了赶上他的脚步，我累得气喘吁吁。不过比起前一天晚上围着营火畅饮廉价酒（一看装酒的是大塑料瓶子就知道这威士忌的质量了）的几个家伙，我还算不上队伍里

最拖后腿的人。但我带的水拖慢了我的速度，走路和谈论恐龙都成了对耐力的严峻考验。

走过沿土石路生长的弯曲杜松时，我问伊恩在多角的华丽角龙和短鼻暴龙怪猎龙尚未灭绝之时，这里是个什么样的地方。伊恩回答说，当时的环境和现在大不相同。在 7500 万年前，也就是如今被封存于凯佩罗维兹组的时代里，南犹他州的这片地区是温暖潮湿的滨海恐龙天堂。大地生长的不是干裂的柽柳和鼠尾草，而是郁郁葱葱的植被。它们更像是现代雨林，爬满藤蔓的高大树木矗立在一片片沼泽之间。曾经的犹他州南部像极了临海的路易斯安那州，不过那时候还有恐龙，短吻鳄也要大得多。

北美浅海曾让犹他州南部的恐龙尽情独立演化，而在恐龙时代即将落幕的时候浅海消退了。大灾难之后，土地上出现了让古代灵长类和哺乳动物尽情欢娱的雨林。随后 5000 万年间的气候演变、大陆漂移、侵蚀和抬升造就了犹他州恶地。即便是现在，世界也在不断改变着形态。这个过程的速度无法以肉眼观测，但的确正在发生。与地球的动态本质以及仍在演化着的奇妙生命相比，以网络更新的速度和工作日的慢条斯理来度量的人类生命尺度也显得一日千里。

我们正影响着这些变化。虽然一些固执己见的人在如山铁证前仍不断抵赖我们正改变着全球气候、加快着无数物种的灭绝步伐，但人类工业技术的危害持续在累积。多少顽固的反对者都改变不了我们让世界变化太快这个事实，即使现在停止排放温室气体和倾倒污染物，接下来的几个世纪依然抹不掉人类破坏力给地球留下的创伤。当我们在争执不休时，世界仍在改变。

从营地走向化石点时我陷入了这番沉思。世界变化得如此迅猛，而我却要在这里检视过去。一个挥之不去的疑问不由浮上心头：为什么我们该这么在意恐龙呢？

沿着小路走下盆地时，我还在思考着这个问题。我试着说服自己，恐龙真的十分重要。化石记录教给我们许多有益的经验教训——如果无视它们，我们将自食其果。随便挑一种你喜欢的恐龙，它都明白无误地表明了，地球具有我们几乎无法理解的深远历史，而生命在时间长河中发生了翻天覆地的改变，以及地球上所有生物最终都难逃灭绝的命运。没有什么能像恐龙那样以如此辉煌的方式体现出这些简单而有力的自然界真理。

通过探索恐龙的本质，我们得以从更广阔的视角看待自身的历史，特别是因为我们的历史和恐龙的历史有着千丝万缕的联系。我们的祖先和亲属一开始就和恐龙毗邻而居，恐龙霸权给哺乳动物的演化历史施加了不可磨灭的影响。恐龙的影响有着双重性质。哺乳动物在非鸟恐龙离开演化舞台之后立刻兴旺起来；在诸多演化事件中，正是恐龙的消失让我们意想不到的起源成为了可能。但另一方面，如果恐龙未曾诞生，那我们可能也不复存在。在恐龙支配地球的几亿年里，我们的祖先躲在角落里繁衍演化，这些胆怯的野兽给未来统治地球的哺乳动物奠定了基础，其中也包括我们的灵长类祖先。所以我们的历史和恐龙的历史密不可分，两者的渊源颇深。

那天接下来的时间里我都在偏远盆地中一寸寸摸索，这给了我不少时间来思考恐龙。自打有记忆以来，我就热爱着恐龙。它们始终在我思维的后台徘徊，有时也会登上前台，就像现在。我开始沉浸在意象中，用骨架和图解描绘起自己的白日梦。但现在，随着我在布满破碎骨头的山坡上慢慢踱步，试图在岩石间发现若隐若现的恐龙的微光，我得到了一个难得的机会让自己感受到某种超乎过去想象的体验。我是在搜寻从一个失落世界残存下来的珍稀而美丽的遗物，通过它们，我们可以对这些迷人的生物的兴亡起伏有再多一点点了解。如果我能找到一只恐龙，并把它从岩石里解救出来，谁知道它可能帮助我们最

终解开什么秘密呢？

对于很多人来说，恐龙可能是庸俗的童年玩具和奇妙的怪兽。但没有它们，我们也不会成为现在的模样。恐龙是演化和灭绝耳熟能详的标志性符号，它们的成功以及最终的悲剧精彩地阐述了生命中偶然性的双重性质。它们是过去的路标，也是可能的未来的前兆。我们需要恐龙。

# 致　　谢

书如龙骨。凭一己之力搭建起恐龙骨架之事世间罕见。任何恐龙的发掘、准备和研究都需要众多志愿者和专家组成的团队。而本书也需要众人的耐心对待和慷慨相助。

对于所有鼓励我成为作家并为我提供机会的朋友和专业人士，我都无以为报。可惜我没能记住每一个帮助过我的人，在此对被我忘记了名字的各位深表歉意。多亏了无数朋友和同事的关怀，这本书才得以问世。

我的朋友和顶尖科普作家埃德·杨（Ed Yong）为我引荐了热情的经纪人彼得·塔拉克（Peter Tallack），他们从不间断的支持让我受宠若惊。彼得向贝尔维文学出版社（Bellevue Literary Press）的编辑埃丽卡·戈德曼（Erika Goldman）介绍了我的第一部作品《书之于石》（*Written in Stone*）。很高兴埃丽卡及其同事愿意给我一个在他们出版社崭露头角的机会。

第一部作品的口碑和彼得对本书最初构想的强力支持引起了本书编辑阿曼达·穆恩（Amanda Moon）的注意。在美国康涅狄格州纽黑文召开的 2010 年科普作家大会上，我见到了阿曼达。她一开始就对我的恐龙梦充满兴趣。要把最初的构想真正编写成书有时非常困难，当

我对科学细节的执着让内容快要偏离主题时尤其如此。但阿曼达的宽容和耐心让手稿不断完善。是她磨炼了我的叙事技巧，促使我成为了更优秀的作者。我得承认，书中所有的不完美之处都是我顽冥不灵的后果。克里斯托弗・理查兹（Christoper Richards）也对很多章节做出了贡献，文字编辑安妮・戈特利布（Annie Gottlieb）简直是整理手稿的英雄。

我对支持这个项目、为我解答疑惑和让我参加野外工作的朋友和专家都深表感激。首先，自打我搬到犹他州，犹他州自然史博物馆的古生物团队就对我非常热情。兰德尔・伊尔米什、麦克・格蒂（Mike Getty）、马克・洛温（Mark Loewen）、卡丽・莱维特（Carrie Levitt）、耶勒・维尔斯马（Jelle Wiersma）、凯瑟琳・克莱顿（Katherine Clayton）、乔希・莱夫利（Josh Lively）和埃里克・伦德（Eric Lund）都通过面谈、访问和让我在野外团队和实验室中担任志愿者，为本书的编写提供了帮助。犹他州的古生物学家吉姆・柯克兰（Jim Kirkland）和唐・德布利厄（Don DeBlieux），以及犹他古生物学之友的职业恐龙粉丝们也为我抽出了很多时间，毫无保留地和我分享他们的知识。

在古生物学家贾森・沙因（Jason Schein）、托马斯・卡尔、斯科特・威廉姆斯和路易斯・基亚佩里（Louis Chiapper）领导的野外团队中，我得到了不少写作此书的灵感。此外，下列人士也为此书的创作做出了不可磨灭的贡献：安德鲁・法尔克、斯特林・内斯比特、海因里希・马利松、托尼・马丁（Tony Martin）、艾伦・特纳（Alan Turner）、杰里・哈里斯（Jerry Harris）、萨拉・韦宁（Sarah Werning）、比尔・帕克（Bill Parker）、托马斯・霍尔茨、雅各布・温瑟尔、柯克・约翰逊（Kirk Johnson）、戴维・法斯托夫斯基、安妮・韦尔、阿德里安娜・梅厄（Adrienne Mayor）、乔・塞尔奇（Joe Sertich）、斯科特・桑普森、凯文・帕迪安、马克・古德温、杰克・霍纳、马克・诺雷尔、亚当・普

里查德（Adam Pritchard）、戴维·瓦里基奥（David Varricchio）、马特·韦德尔、达伦·奈许、谢纳·蒙塔纳里（Shaena Montanari）、科琳·法默（Colleen Farmer）、唐·普罗瑟罗（Don Prothero）、卡尔·梅林，以及肯·拉科瓦拉（Ken Lacovara）。

我还有幸得到了科普写作协会成员的指导，他们包括卡尔·齐默、博拉·济夫科维奇（Bora Zivkovic）、德博拉·布鲁姆（Deborah Blum）、托马斯·利文森（Thomas Levenson）、马里·麦克纳（Maryn McKenna）戴维·多布斯（David Dobbs）、史蒂夫·西尔贝曼（Steve Silberman）、珍妮弗·韦莱（Jennifer Ouellette）、阿罗克·杰哈（Alok Jha）、亚当·拉瑟福德（Adam Rutherford）、马克·亨德森（Mark Henderson）、戴夫·莫舍（Dave Mosher）、贝斯蒂·梅森（Besty Mason）、弗吉尼娅·休斯（Virginia Hughes）、布赖恩·沃勒（Brian Wolly），以及凯特·翁（Kate Wong）。劳拉·赫尔穆特（Laura Helmuth）近四年来都在帮我编辑我为史密森尼写作的博客"恐龙寻踪"，我对此感激万分。我们几乎每天都在一起工作，她是我所见过的最温暖最开朗的编辑。她的细致帮助我从业余博主蜕变成了专业的科普作家。能和她紧密合作这么长时间实属三生有幸，特别是她每天都很乐意让我抒发出自己对恐龙的热爱。

非常感谢杰弗里·马特兹（Jeffrey Martz）、尼罗特·希马潘（Niroot Himmapan）、麦克·基西（Mike Keesey）、罗伯特·沃尔特斯（Robert Walters）、泰斯·基辛格（Tess Kissinger）、斯科特·哈特曼（Scott Hartman）和麦克·雅各布森（Mike Jacobsen）在图片上的慷慨相助。和马克·斯塔茨曼（Mark Stutzman）一起设计封面也让人乐在其中。

当然了，我永远不会忘记老爸老妈早年里对我恐龙狂热症的支持。谨以本书献给他们，感谢他们在我童年时鼓励我追求的梦想。

很多朋友都在写作过程中为我加油打气，但我要特别感谢其中两位。自从在多年前的网络科学大会上相识，Scicurious 就成了我最忠实

的朋友，她从不让我带着习惯性自卑逃避工作。她始终如一地鼓励我继续前行，作家得挚友如此，夫复何求。不断扩大的科学写作领域让我和米里亚姆·戈尔茨坦（Miriam Goldstein）建立了深厚的友谊。他和我一样既是科学家又是科普作家，在我深陷写作瓶颈的时候给了我极大的激励。和我交流音乐的事自不用说，托他的福，我在工作时享受到了前所未有的美妙音乐。

但我最想感谢的人是我的妻子特蕾西。即使在我灰心丧气的日子里，她也从没对我的能力有丝毫怀疑。她总是鼓励我追求梦想，即使我要冒着风险辞去工作成为自由职业者。在犹他州奇妙的荒地上查看新房子的时候，她是我最贴心的伴侣。每个文章和图书的选题提案都是一番挣扎，此时我最看重特蕾西的意见和支持。能和这样聪慧温情的姑娘结为伴侣实乃人生大幸。如果你喜欢此书，那这里面也有特蕾西的一份功劳。

# 古生物名称索引

本书相关的地质年代简表

| 代（界） | 纪（系） | 世（统） | 起始年代（百万年） |
| --- | --- | --- | --- |
| 新生代 | 第四纪 | 全新世 | 0.0117 |
| | | 更新世 | 2.58 |
| | 新近纪 | 上新世 | 5.333 |
| | | 中新世 | 23.03 |
| | 古近纪 | 渐新世 | 33.9 |
| | | 始新世 | 56.0 |
| | | 古新世 | 66.0 |
| 中生代 | 白垩纪 | 晚白垩世 | 100.5 |
| | | 早白垩世 | 145.0 |
| | 侏罗纪 | 晚侏罗世 | 163.5 |
| | | 中侏罗世 | 174.1 |
| | | 早侏罗世 | 201.3 |
| | 三叠纪 | 晚三叠世 | 237 |
| | | 中三叠世 | 247.2 |
| | | 早三叠世 | 252.2 |
| 古生代 | 二叠纪 | 晚二叠世 | 259.8 |
| | | 中二叠世 | 272.3 |
| | | 早二叠世 | 298.9 |
| …… | …… | …… | …… |

## 邢立达

青年古生物学者，科普作家。1982年生于广东潮州，高中时期便创建中国大陆第一个恐龙网站。在加拿大艾伯塔大学取得古生物学硕士学位，师从著名古生物学家菲利普·柯里（电影《侏罗纪公园》的主角原型）；在中国地质大学（北京）取得古生物学与地层学博士学位。受美国《国家地理》资助。中国科普作家协会会员，出版与翻译了近百本古生物科普书籍，并多次在CCTV各频道为公众介绍古生物知识。

## 李锐媛

Uptodate项目医学编辑。毕业于四川大学华西药学院，长期从事医学翻译工作。近年来涉猎古生物学领域，与邢立达合作翻译过多本恐龙及其他生物学科普书籍。




这是一本集知识性、趣味性和消遣性为一体的好书。2013年该书英文版发行时，我曾应邀在英国《自然》杂志上发表一篇书评，对该书进行了介绍和评论。现在，我非常欣喜地看到该书中文版的发行，相信这是给热爱古生物学和演化生物学的中文读者的一件难得礼物。

——徐星（中科院古脊椎动物与古人类研究所古生物学家）

不仅是对恐龙感兴趣的人，任何对科学、科学史或自然世界感兴趣的人，应该都会被这本书所吸引。而对于那些试图跟上对恐龙头头是道的自家孩子的父母，这本书将会提供必要的小抄。

——《泰晤士报文学增刊》

---

我们小时候（特别是男孩子们）可能都曾经历过一个“恐龙期”，痴迷过这些史前生物。但当我们发现成长的乐趣（和烦恼）时，这些儿时的伙伴便被许多人抛在了脑后。直到当我们为人父母，带着自己的孩子再次与恐龙相遇时，我们才突然发现，现在的恐龙已经与记忆中的模样大相径庭。在过去这些年里，恐龙身上究竟发生了什么?

本书就将带领大家一览恐龙研究的最新进展，通过最新的发现和技术进步一窥恐龙生活的诸多奥秘，比如恐龙的性生活、恐龙的社会性、恐龙的羽毛、恐龙的病痛，以及最重要的，恐龙的崛起和灭亡。我们将会发现，虽然恐龙的形象和自然史发生了诸多改变，但这些改变只是让我们曾经的朋友更加鲜活生动，也更具魅力。

“雷龙”（正确的名字应该是迷惑龙）是本书的吉祥物，也是我们对恐龙的看法不断改变的历史的缩影。追寻着我们热爱的恐龙的身影，我们将会看到科学如何帮助科学家从冰冷的化石中复原出恐龙生活的鲜活细节，而一个多世纪来人们又在探索恐龙奥秘的过程中走过了哪些弯路，以及为什么我们该这么在意恐龙。




ISBN 978-7-115-42976-6
定价：45.00元

# 看完了

如果您对本书内容有疑问，可发邮件至 contact@turingbook.com，会有编辑或作译者协助答疑。也可访问图灵社区，参与本书讨论。

如果是有关电子书的建议或问题，请联系专用客服邮箱: ebook@turingbook.com。

在这可以找到我们:

微博 @图灵教育：好书、活动每日播报
微博 @图灵社区：电子书和好文章的消息
微博 @图灵新知：图灵教育的科普小组
微信 图灵访谈：ituring_interview，讲述码农精彩人生
微信 图灵教育：turingbooks